

ANÁLISIS RETROSPECTIVO: RELACIÓN ENTRE CAMBIOS DE USO DE LA TIERRA Y COBERTURA Y BROTE DE LEISHMANIASIS CUTÁNEA EN VINALITO, PROVINCIA DE JUJUY

Lic. en Cs. Biológicas M. Elvira Casagrande

Presentado ante la Facultad de Matemática, Astronomía y Física y el Instituto de Altos Estudios Espaciales Mario Gulich como parte de los requerimientos para la obtención del grado de

MAGISTER EN APLICACIONES ESPACIALES DE ALERTA Y RESPUESTA TEMPRANA A EMERGENCIAS UNIVERSIDAD NACIONAL DE CORDOBA

Julio, 2014

©IG - CONAE/UNC 2014

© FaMAF - UNC 2014

Directora: Dra. Gabriela Quintana. Instituto Nacional de Medicina Tropical, MSN - CONICET
Instituto Superior de Entomología, FCN e IML, UNT.

Codirectora: Dra. Ximena Porcasi.

Instituto de Altos Estudios Espaciales - Mario Gulich - CONAE, Córdoba, Argentina



El estudio *Análisis retrospectivo: relación entre cambios de uso y cobertura y brote de leishmaniasis cutánea en Vinalito, Provincia de Jujuy* por Casagrande, Elvira se distribuye bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 2.5 Argentina](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/argentina/)

Agradecimientos

Quiero agradecer a todos aquellos que de alguna manera hicieron posible la realización de este trabajo, sin ellos no hubiese sido posible llegar hasta aquí.

A mis queridos, divertidos y geniales compañeros en la maestría, quienes supieron acompañarme, ayudarme y enseñarme tantas cosas, tanto en el trabajo como en la vida: Teté, Ferchu, Manu, Gonza, Fani, Lau, Ariel, Andrés, Juanito, Elisa, Carlos, Naza y Erith. Sin ustedes nada hubiese sido lo mismo.

A mi familia: mi mamá Alicia y mis cinco hermanos: Victoria, Juan, Julio, Alicia y Dolores por su amor y apoyo en todo lo que inicié en la vida. A mi padre, Julio, que aunque hace mucho no está físicamente, está en nuestro recuerdo diario.

A mi amado sobrinaje!

A Augusto, por toda la música, la compañía y el amor.

A mis queridos amigos tucumanos, quienes desde lejos o cerca siempre estuvieron presentes.

A todas las personas del IG que tendieron una mano o simplemente brindaron una sonrisa en la rutina diaria: Nico, Nani, Sofi, Camilo, Marta, Xime, Marcelo, Mario, Gabriel, Carlos, Seba, Martín, Sergio, Eduardo, Gastón y tantos otros que siempre anduvieron cerca.

Al equipo de DApEs que se formó en los dos años de convivencia en el Instituto, gracias por confiar en mí!

A mis directoras, quienes confiaron en mí, siempre incentivándome y ayudándome a seguir adelante.

A Gaby Quintana, que me ofreció la oportunidad de vivir esta experiencia y aprender miles de cosas.

Elvira ☺

Contenidos

| | |
|---|----|
| Agradecimientos | 1 |
| Resumen..... | 6 |
| Abstract | 7 |
| Capítulo I | 8 |
| Introducción | 8 |
| Leishmaniasis | 8 |
| Teledetección | 14 |
| Problemática | 18 |
| Área de Estudio | 20 |
| Objetivos | 24 |
| Objetivo Principal | 24 |
| Objetivos Específicos | 24 |
| Capítulo II | 25 |
| Análisis de imágenes satelitales. Usos y cambio de cobertura en Vinalito y Yuto | 25 |
| Imágenes Landsat 5TM | 25 |
| Pre-procesamiento | 27 |
| Procesamiento | 29 |
| Clasificaciones | 31 |
| Clasificaciones No Supervisadas | 31 |
| Clasificaciones Supervisadas | 33 |
| Validación de las Clasificaciones | 39 |
| Detección de Cambios de Coberturas..... | 43 |
| Índice de vegetación normalizado (NDVI)..... | 47 |
| Mapas de Cambios en NDVI..... | 51 |
| Capítulo III | 53 |
| Caracterización epidemiológica del brote..... | 54 |
| Análisis de Casos | 54 |
| Datos tomados en Vinalito | 60 |

| | |
|--------------------------------|----|
| Capítulo IV | 63 |
| Conclusiones y Discusión | 63 |
| Sugerencias | 66 |
| Bibliografía citada..... | 68 |
| Anexo | 73 |

Índice de Figuras y Tablas

| | |
|---|----|
| Figura 1a: Mapa de estado de endemicidad de LC a nivel mundial | 9 |
| Figura 1b: Área de transmisión vectorial de LT en Argentina | 10 |
| Figura 1c: Casos de LC notificados por año (1985-2012) para la provincia de Jujuy | 11 |
| Figura 1d: Casos notificados de LC en la provincia de Jujuy según procedencia (1985-2012) | 12 |
| Figura 1e: Componentes de un sistema de teledetección | 14 |
| Figura 1f: Esquema del espectro electromagnético | 15 |
| Figura 1g: Características de las imágenes Landsat 5TM | 17 |
| Figura 1h: Ubicación de la localidad de Vinalito en la provincia de Jujuy, Argentina | 20 |
| Figura 1i: Principales localidades de la Cuenca del Arroyo Santa Rita | 21 |
| Figura 1j: Río San Francisco. Precipitaciones medias anuales y promedio. Período 1970-2006 | 22 |
| Figura 1k: Casos autóctonos de LC notificados en el período 1985-2012 según Departamento de la provincia de Jujuy | 23 |
| Tabla 1: Listado de imágenes Landsat seleccionadas | 26 |
| Figura 2a: Escena Landsat 5TM 230/077 y recorte con las localidades de Vinalito y Yuto | 30 |
| Figura 2b: Recorte en la zona de y Vinalito (A) y Yuto (B) | 31 |
| Figura 2c: Ejemplo de clasificaciones realizadas con el algoritmo ISODATA | 32 |
| Figura 2d: Identificación de las ROIs de las clases a identificar en la zona de estudio | 33 |
| Figura 2e: boxplots de separabilidad espectral de clases | 35 |
| Figura 2f: Serie temporal de clasificaciones supervisadas para Vinalito | 37 |
| Figura 2g: Serie temporal de clasificaciones supervisadas en la zona de Yuto | 38 |
| Tabla 2: Promedio de exactitud y Kappa obtenidos en las clasificaciones | 40 |
| Tabla 3: Porcentaje de muestras correctamente clasificadas por clase | 40 |
| Figura 2h: Gráficas de porcentaje de cada tipo de cobertura para las diez imágenes clasificadas en ambas series | 41 |
| Tabla 4: Ejemplo de una matriz del porcentaje de cambios de las coberturas del suelo | 43 |
| Figura 2i: Diagramas de porcentaje de coberturas, Yuto | 45 |
| Figura 2j: Diagramas de porcentaje de coberturas. Vinalito | 46 |
| Figura 2k: Serie de NDVI para Vinalito | 49 |
| Figura 2l: Serie de NDVI para Yuto | 50 |

| | |
|--|----|
| <u>Figura 2m: Series de cambios en el NDVI para Vinalito y Yuto</u> | 52 |
| <u>Figura 2n: Diagramas de porcentajes de cambio del NDVI en los tres pares de imágenes comparados para las localidades de Vinalito y Yuto</u> | 53 |
| <u>Figura 3a: Casos de LC registrados por año en el período 1986 – 2012 para Santa Bárbara (arriba) y Vinalito (abajo)</u> | 55 |
| <u>Figura 3b: Comparación de número de casos registrados entre Vinalito y Yuto en el período 1986 – 1991</u> | 56 |
| <u>Figura 3c: Número de casos acumulados en Vinalito y Yuto por períodos: 1984 – 1987, 1987 – 1990 y 1990 – 1991</u> | 56 |
| <u>Figura 3d: Cantidad de casos de LC en Vinalito por semana epidemiológica</u> | 57 |
| <u>Figura 3e: Distribución de casos de LC para Vinalito según grupo etario</u> | 58 |
| <u>Figura 3f: Porcentaje de casos de LC según sexo. Vinalito</u> | 58 |
| <u>Figura 3g: Casos de LC agrupados por actividad. Vinalito</u> | 59 |
| <u>Figura 3h: Imagen tomada de Google Earth para Vinalito, sitio anterior de localización del pueblo y actual Vinalito</u> | 61 |

Resumen

Facultad de Astronomía, Matemática y Física

Maestría en Aplicaciones Espaciales de Respuesta y Alerta Temprana a Emergencias

Análisis Retrospectivo: Relación entre cambios de uso de la tierra y cobertura y brote de Leishmaniasis cutánea en Vinalito, Provincia de Jujuy

por M. Elvira Casagrande

El trabajo aborda el brote epidémico de mayor casuística de leishmaniasis cutánea (LC) ocurrido en el año 1990 en la localidad jujeña de Vinalito, Argentina. Se analiza una serie temporal de imágenes Landsat 5TM con el fin de entender los cambios ambientales naturales o antropogénicos ocurridos durante el tiempo estudiado, y su posible influencia en la aparición del brote. Se analizaron los cambios en el uso de la tierra y superficies naturales, como también se registraron los cambios en el NDVI para un período de diez años. Además, se realizó una caracterización epidemiológica de Vinalito basada en los casos notificados. Se realizó un análisis temporal del área estudiada usando técnicas de sensado remoto. Los resultados obtenidos muestran que ciertas actividades antrópicas, como el traslado del pueblo y la subsiguiente deforestación, seguidos por el inmediato asentamiento de la población, están estrechamente relacionadas a la aparición de enfermedades como la LC. El entendimiento sobre la complejidad de este evento epidémico resultó incompleto debido a la falta de datos espaciales. Este hecho nos alerta acerca de la importancia de la vigilancia en todo el territorio endémico de la LC en Argentina. El presente trabajo representa el primer estudio sistemático de LC apuntado a entender el brote ocurrido en Vinalito aplicando técnicas de sensado remoto.

Palabras clave: Leishmaniasis cutánea, teledetección, epidemiología, cambios ambientales, detección de cambios.

Abstract

Facultad de Astronomía, Matemática y Física

Maestría en Aplicaciones Espaciales de Respuesta y Alerta Temprana a Emergencias

Retrospective Analysis: Relationship between changes in land use and cover and outbreak of cutaneous leishmaniasis in Vinalito, Province of Jujuy

by M. Elvira Casagrande

The present thesis address the study the major casuistry outbreak of cutaneous leishmaniasis (CL) occurred in 1990 in Vinalito town, Jujuy, Argentina. A series of temporal Landsat 5TM images were analyzed in order to understand the natural and anthropogenic environmental changes during the time studied and its possible influence on the outbreak. The changes in the use of land, natural surfaces and NDVI were analyzed for a period of ten years. Also, an epidemiological characterization of Vinalito was made based on the cases reported. A temporal analysis on the studied area was performed by using remote sensing techniques. The results found show that human activities such as the relocation of town and the subsequent deforestation, followed by the immediate population settlement, are strongly related to the emergence of diseases such as CL. The understanding of the studied outbreak resulted incomplete due to the lack of spatial data. This fact aware us about the importance of surveillance across the entire endemic territory of CL in Argentina. The present work represents the first systematic study of CL pointed to understand the outbreak occurred in Vinalito by applying remote sensing techniques.

Keywords: Cutaneous leishmaniasis, remote sensing, epidemiology, environmental changes, change detection.

Capítulo I

Introducción

Leishmaniasis

Es conocido que las enfermedades transmitidas por vectores son de gran importancia en las zonas tropicales y subtropicales debido a que un gran número de agentes patógenos pueden propagarse fácilmente favorecidos por las condiciones ambientales que caracterizan a estas áreas, como son las altas temperaturas promedio, alta humedad relativa y gran biodiversidad, entre otros factores (Salomón *et al.*, 2012). Entre estas enfermedades de importancia se encuentran las leishmaniasis, un grupo de enfermedades causadas por diferentes especies de protistas parásitos que pertenecen a la familia Tripanosomatidae, género *Leishmania*, y que son transmitidas al ser humano por la picadura de las hembras de distintas especies de insectos flebótomos (Psychodidae: Phlebotominae), en América del género *Lutzomyia* (Young & Duncan 1994).

Las leishmaniasis comprenden un conjunto de manifestaciones clínicas entre las cuales las tres formas principales son la leishmaniasis visceral (LV), leishmaniasis cutánea (LC) y leishmaniasis mucocutánea (LMC), las dos últimas son llamadas en conjunto leishmaniasis tegumentaria (LT). Este grupo de enfermedades se consideran reemergentes, y un problema creciente de salud pública en el mundo, debido al aumento de la cantidad de afectados como consecuencia de la mayor exposición de las personas a los vectores de la enfermedad.

En el mundo más de 98 países y territorios son endémicos de leishmaniasis. Se estima que se producen aproximadamente entre 0,2 a 0,4 millones de nuevos casos de LV y entre 0,7 a 1,2 millones de nuevos casos de LC cada año en el mundo. Más del 90% de los casos mundiales de LV se producen en seis países: Bangladesh, Brasil, Etiopía, India, Sudán del

Sur y Sudán. La LC se distribuye más ampliamente, presentando cerca de un tercio de los casos en cada una de las tres regiones epidemiológicas, las Américas, el Mediterráneo y Asia Occidental desde el Medio Oriente hasta Asia Central (World Health Organization, 2013). En la Figura 1a se muestra el mapa de estado de endemividad mundial de LC creado por la World Health Organization en el año 2013.

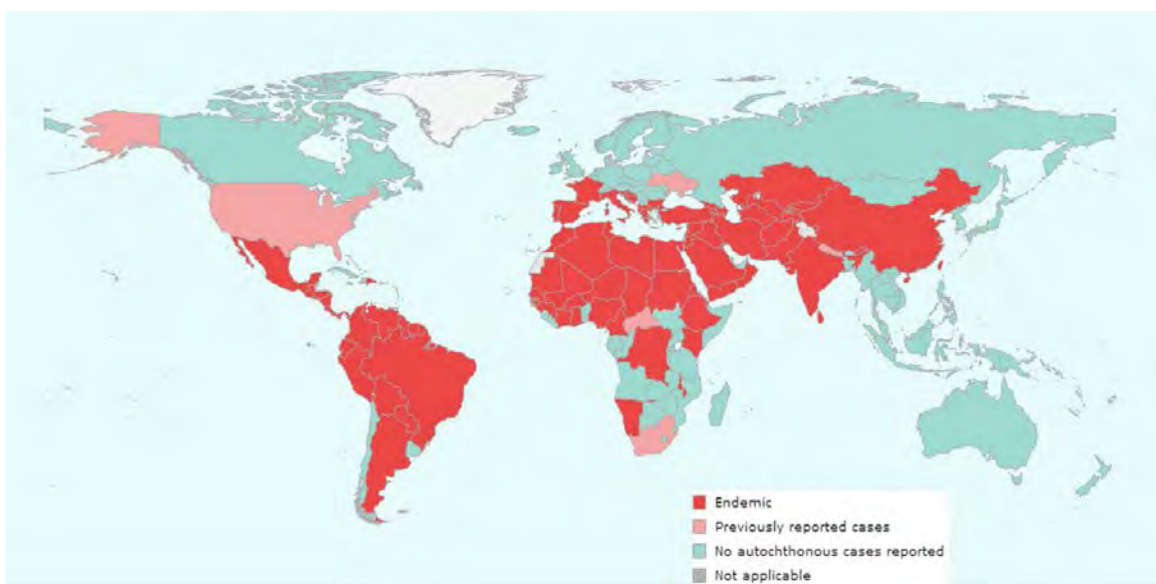


Figura 1a: Mapa de estado de endemividad de LC a nivel mundial. *Fuente: World Health Organization (2013)*

La LT es endémica por encima de los 28 ° de latitud sur en nuestro país, incluyéndose en esta área tres regiones fitogeográficas (Yungas, Chaco y Selva Paranaense) (Fig. 1b) y nueve provincias: Salta, Jujuy, Tucumán, Catamarca, Formosa, Chaco, Santiago del Estero, Misiones y Corrientes (Salomón *et al.* 2001a).

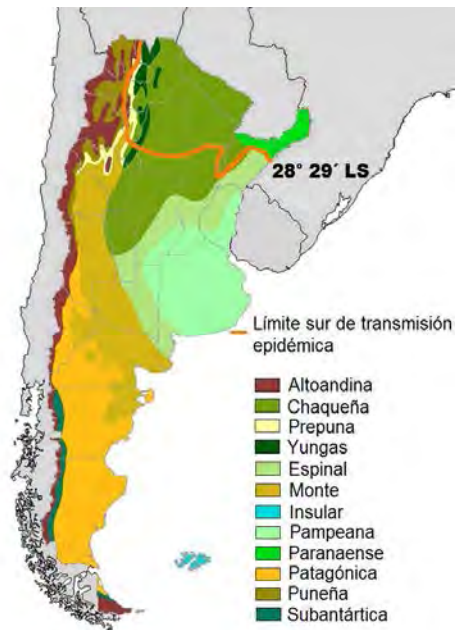


Figura 1b: Área de transmisión vectorial de LT en Argentina. (Fuente de regiones fitogeográficas: Cabrera 1976)

El primer registro de un caso autóctono de LT en Argentina data del año 1916 (Quintana y Etcheverry 1917, Paterson 1926). Desde entonces y hasta la década de los 80, la LT tenía características de una antropozoonosis endémica, con una media de 40 a 50 casos por año, los cuales se registraban principalmente en los trabajadores relacionados con la silvicultura o en individuos en estrecho contacto con el bosque primario. Pasada la década de los 80, el resurgimiento de la LC se ha registrado como epidémico, con brotes de ubicación geográfica restringida asociados a la deforestación y a las modificaciones antrópicas que suceden posteriormente a ésta, como son las condiciones de seguridad de los trabajadores expuestos, los asentamientos humanos y la urbanización (Sosa Estani *et al.*, 2001; Salomón *et al.*, 2001a, b, c, 2006a, 2008a, b; Sosa Estani y Salomón, 2002; Quintana *et al.*, 2010).

De todos los casos de LC registrados en el país desde 1954 hasta el 2006, el 58,2% pertenecía a las provincias de Salta y Jujuy (Salomón, 2003; Salomón *et al.*, 2006b). De

acuerdo a esto, la provincia de Jujuy dispone de antecedentes pioneros en el estudio de esta afección. Allí la LC se comporta como una zoonosis que tiene sus focos primarios en el monte, el hombre se expone al ingresar, trabajar o transitar por áreas con transmisión activa, la transmisión es por lo general selvática pero puede ocurrir en domicilios o peridomicilios afectando por igual a hombres y mujeres de cualquier edad o raza (Ripoll, 2012). Los casos notificados totales, sin tener en cuenta la procedencia, en la provincia de Jujuy desde 1985 a 2012, se observan en la Figura 1c, los ciclos de transmisión aumentan cada cuatro a cinco años y se presentaron dos momentos epidémicos de importancia: 1986 a 1990 y 2002 a 2005. De acuerdo al total de casos notificados (558) un 14.33% corresponden a casos provenientes o infectados en la provincia de Salta (en su mayoría pescadores deportivos que fueron a pescar a la zona del río Bermejo) (Ripoll, 2012) (Fig. 1d). En el país la enfermedad es de denuncia obligatoria desde la década del '60 (Ley 15465).

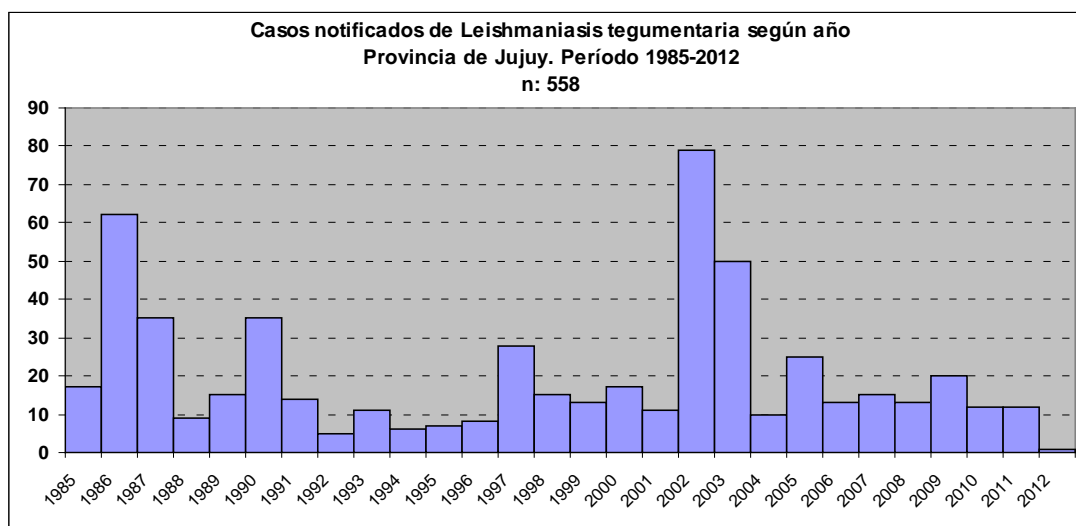


Figura 1c: Casos de LC notificados por año (1985-2012) para la provincia argentina de Jujuy, sin procedencia.

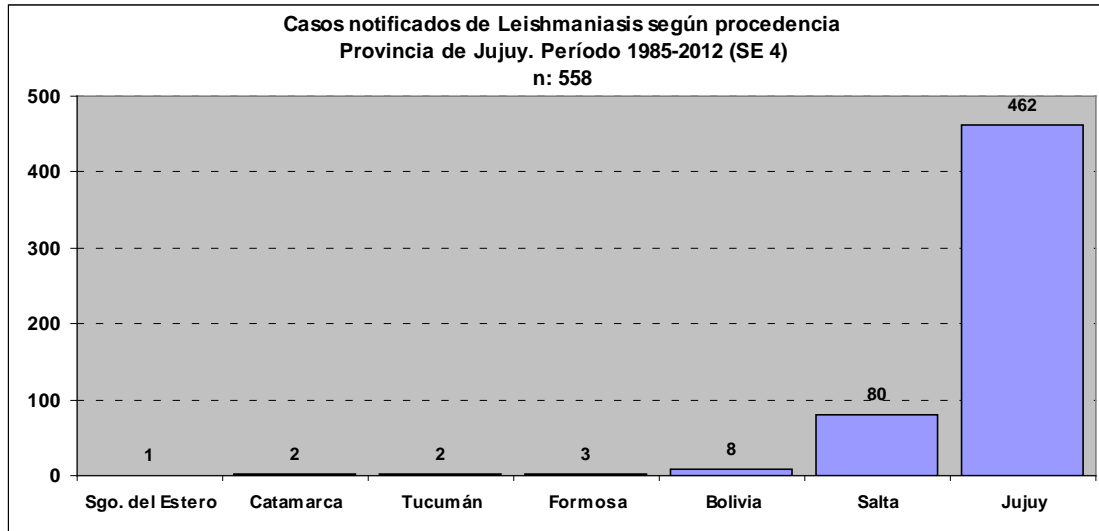


Figura 1d: Casos notificados de LC en la provincia de Jujuy según procedencia. Período 1985-2012.

Se conoce que las intervenciones antrópicas han sido acompañadas de cambios a muy corto (semanas), mediano y largo plazo en la epidemiología de enfermedades, como la malaria, dengue y leishmaniasis (Beck *et al.*, 2000; Dedet, 1999; Heymann *et al.*, 2001; Lainson, 1989; Mott *et al.*, 1990; Walsh *et al.*, 1993). Es así, que tanto los cambios ambientales (naturales y/o por intervención humana), como las alteraciones ecológicas, modifican los patrones de la transmisión de enfermedades y pueden conducir a brotes y episodios de emergencia (Patz *et al.*, 2000; Foley *et al.*, 2005).

En las últimas tres décadas, la LT evidenció en Argentina una tendencia al incremento de brotes epidémicos y focales cada vez más frecuentes e intensos, asociada con fenómenos que aumentan la densidad del vector, su área de distribución o el contacto efectivo con los humanos (Salomón, 2002, Salomón *et al.*, 2008). Las principales actividades propuestas como factores causales de la re-emergencia de la LT son la urbanización desordenada, la deforestación y variables climático-ambientales (Lainson, 1989; Mott *et al.*, 1990; Walsh *et al.*, 1993; Dedet, 1999; Ashford, 2007). Diversos estudios en la región abordan el análisis de las situaciones ambientales en las que se presentan la mayor abundancia de los vectores de LC, como también de los diferentes brotes de esta enfermedad en Argentina.

Quintana *et al.* (2010) analizan cuales son las relaciones espacio-temporales en la comunidad de flebotomos y su distribución en relación con el grado de modificación del paisaje, demostrando que aún cuando las modificaciones son mínimas, ocasionan el incremento en la abundancia de los vectores y por lo tanto un aumento en el riesgo de transmisión de LT. Salomón *et al.* (2006) abordan el estudio de cuatro brotes epidémicos ocurridos en Argentina (NOA y NEA), con el fin de caracterizar diferentes ciclos de transmisión de LT; los autores señalan la importancia que la deforestación pudo haber tenido en al menos uno de los brotes estudiados, no solo por aumentar el contacto efectivo sino también por alteración-migración de vectores y/o reservorios. Otro trabajo realizado por Salomón y colaboradores en el 2001 sobre LT en un área con niveles epidémicos de transmisión, próxima a Orán, en la provincia de Salta, demuestra el efecto que eventos de deforestación extensiva pueden tener sobre los brotes epidémicos: estos se potencian y mantienen por la aparición de asentamientos humanos en estos sitios deforestados o de bosque residual, en donde se incrementa el contacto efectivo humano-vector, lo cual puede llevar a niveles epidémicos la infección parasitaria. Otro caso estudiado fue el brote de LC ocurrido en Puerto Esperanza, Misiones en el año 1998 (Salomón *et al.*, 2001), en donde el foco de transmisión estuvo ubicado en el barrio Km 1, en donde “islas” de selva paranaense próximas a las viviendas habrían actuado como la principal fuente de vectores.

Esta tesis representa el primer trabajo sistemático que se realiza en nuestro país que utiliza imágenes satelitales para abordar el estudio de la leishmaniasis, intentado contribuir a la comprensión sobre cuáles son los patrones y fenómenos que contribuyen a la aparición de brotes epidémicos de esta enfermedad.

Teledetección

La teledetección espacial se define como la técnica que permite adquirir imágenes de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales, asumiendo que entre la Tierra y el sensor existe una interacción energética, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial que puede ser de emisión propia. Este haz energético recibido por el sensor debe ser almacenado para luego realizar las interpretaciones que requiera cada aplicación en particular (Chuvieco, 2010). En la Figura 1e se resumen los componentes básicos de un sistema de teledetección.

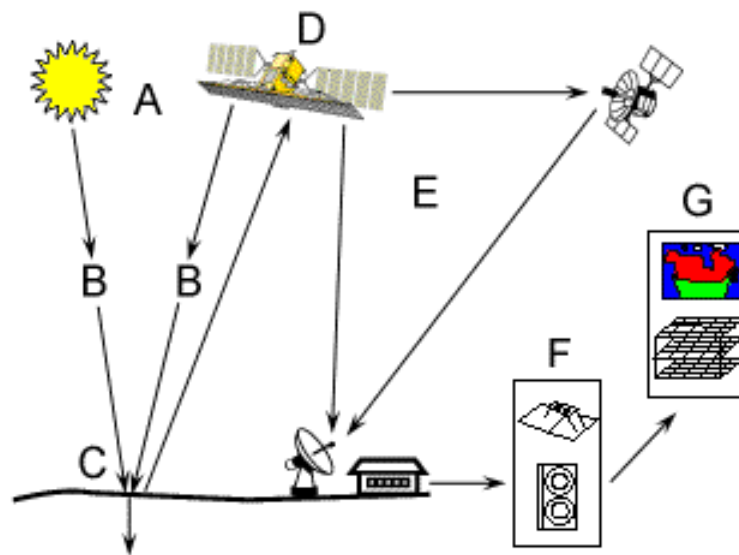


Figura 1e: Fuente de energía o iluminación (A), radiación y atmósfera (B), interacción con la superficie terrestre (C), sensor (D), transmisión, recepción, y proceso (E), interpretación y análisis (F), y aplicación (G).

Hay tres formas de adquirir información por medio de los sensores remotos, por reflexión, emisión y por emisión-reflexión. La primera es la más importante en teledetección y es la

energía que reflejan los objetos, proveniente de la luz solar. La segunda es la energía emitida por los propios objetos, y la tercera es aquella que el mismo sensor emite y luego capta la reflexión como es el caso de los sensores activos (SAR). En todos los casos lo que capta el sensor es una forma de energía electromagnética, si bien las longitudes de onda varían en forma continua se suelen establecer una serie de bandas donde el comportamiento de las ondas es similar, esto es lo que se conoce como el espectro electromagnético (Fig. 1f). Este espectro se extiende desde la radiación de menor longitud de onda, como los rayos gamma y los rayos X, pasando por la luz ultravioleta, la luz visible y los rayos infrarrojos, hasta las ondas electromagnéticas de mayor longitud de onda, como son las ondas de radio. El estudio de los recursos territoriales y la medición de los campos energéticos de los cuerpos se centran en el empleo de longitudes de ondas electromagnéticas, que son codificadas en datos digitales y dispuestos en arreglos matriciales, basadas en una celda de tamaño conocido, como unidad de registro.

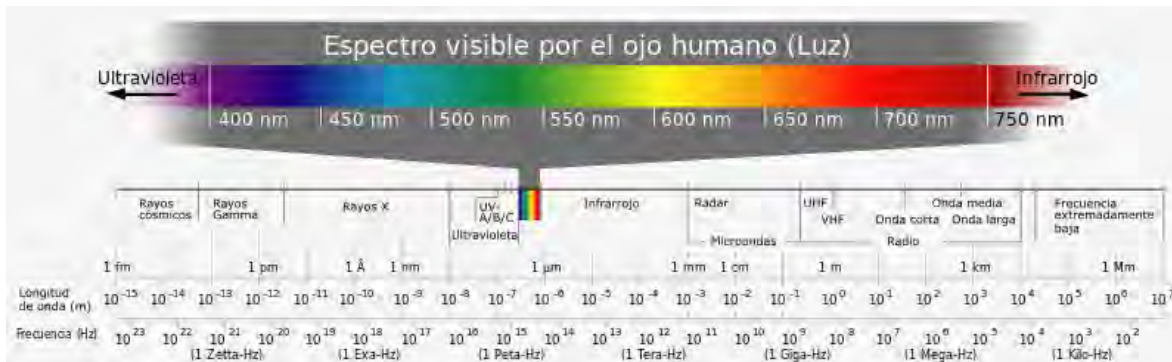


Figura 1f: Esquema del espectro electromagnético.

El uso de la teledetección está cada vez más difundido en la sociedad, tanto en ámbitos científico-académicos como en sectores no vinculados al conocimiento, como entidades gubernamentales o privadas encargadas de tomar decisiones de diversos tipos, ya que es una herramienta que brinda la posibilidad de obtener una visión global de los recursos, asentamientos humanos, cambios en el uso de la tierra, climáticos, entre otros, a distintas

escalas de observación y con una cobertura frecuente. Esto facilita muchas veces la efectividad en la toma de decisiones y aporta al conocimiento del estado del planeta y sus recursos.

Imágenes Landsat

Los Landsat son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por Estados Unidos para la observación en alta resolución de la superficie terrestre. La constelación está formada por ocho satélites de los cuales se encuentran activos actualmente el Landsat 7 y 8.

Los satélites Landsat llevan a bordo diferentes instrumentos. Su evolución buscó siempre captar más información de la superficie terrestre, con mayor precisión y detalle, de ahí las mejoras radiométricas, geométricas y espaciales que se incorporaron a los sensores pasivos; el primero, conocido como Multispectral Scanner Sensor (MSS), seguido de Thematic Mapper (TM) que tiene mayor sensibilidad radiométrica que su antecesor y por último, Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) que entre sus mejoras técnicas destaca una banda espectral (pancromática) con resolución de 15 metros.

Las imágenes Landsat están compuestas por 7 u 8 bandas espectrales, que fueron elegidas especialmente para el monitoreo de la vegetación, para aplicaciones geológicas y para el estudio de los recursos naturales. En esta tesis se utilizan imágenes tomadas por el Landsat 5TM, el cual fue puesto en órbita el 1° de marzo de 1984. Este satélite opera simultáneamente en siete bandas espectrales, siendo tres en el visible, una en el infrarrojo cercano, dos en el infrarrojo medio y una en el infrarrojo termal. Tiene una resolución espacial de 30 metros en las bandas del visible e infrarrojo medio y 120 metros en la banda del infrarrojo termal, y la escena terrestre registrada por este sensor es de 185 km. La Figura 1g resume las características de las imágenes Landsat 5 en cuanto a sus resoluciones espacial, espectral, radiométrica y temporal.

| MODO ESPECTRAL | ESPACIAL (metros) | ESPECTRAL (micras) | | RADIOMÉTRICA | TEMPORAL |
|----------------|-------------------|------------------------------|-------------|--------------|----------|
| Multiespectral | 30 | Banda 1 azul: | 0.45 - 0.52 | 8 BITS | 16 Días |
| | | Banda 2 verde: | 0.52 - 0.60 | | |
| | | Banda 3 roja: | 0.63 - 0.69 | | |
| | | Banda 4 Infrarrojo cercano1: | 0.76 - 0.90 | | |
| | | Banda 5 Infrarrojo cercano2: | 1.55 - 1.75 | | |
| | | Banda 7 Infrarrojo medio: | 2.08 - 2.35 | | |
| Termal | 120 | Banda 6 Infrarrojo térmico: | 10.4 - 12.5 | | |

Figura 1g: Características de las imágenes Landsat 5TM.

Problemática

La presente tesis estudia el brote de mayor casuística de LC ocurrido en Vinalito, Provincia de Jujuy, en el año 1990. Este brote se asocia a un deslizamiento de ladera que ocasionó el traslado del pueblo hacia el sitio en que actualmente se encuentra la localidad de Vinalito, donde desde el año 1984 se realizaron pequeñas intervenciones deforestando progresivamente la zona a medida que las familias se fueron asentando (Com. Pers. Pedro Quiroga, Jefe de Agentes Sanitarios, Puesto de Salud Vinalito, 2013). En base a algunos trabajos anteriormente mencionados y específicamente teniendo en cuenta el de Quintana *et al.* (2010), en donde se afirma que el aumento del riesgo a contraer LC está asociado a la práctica de actividades tales como la deforestación de la vegetación secundaria que permite el crecimiento de ciudades, sostenemos en nuestra hipótesis que las intervenciones realizadas en la zona de estudio podrían haber ocasionado el mencionado brote.

Una de las principales limitantes a la hora de abordar el estudio de lo ocurrido en Vinalito, fue encontrar que no existen datos de casos espacializados del mencionado brote, por lo tanto se lleva a cabo esta tesis abordando la problemática de una manera más descriptiva, utilizando datos provenientes de una visita a la localidad de Vinalito en donde recogimos información de parte de autoridades sanitarias sobre la historia del pueblo y del brote, además se obtuvieron tablas con registros epidemiológicos del brote otorgadas por el Dr. Carlos Ripoll.

La componente cuantitativa de esta tesis se realizó conociendo que la información que se obtiene de sensores remotos puede proporcionar una reconstrucción de variables relacionadas al clima, los factores ecológicos y antrópicos, y asociarse con los niveles y patrones de transmisión de estas enfermedades (Machault *et al.*, 2011): se realizó un análisis retrospectivo utilizando imágenes provenientes del sensor Landsat 5TM, correspondientes a un período de tiempo comprendido entre 1984 y 1991 para entender qué cambios ambientales tuvieron mayor importancia en el episodio de brote de LC registrado en la localidad jujeña de Vinalito en el año 1990. También se desarrollaron

mapas de cambio de NDVI (Índice de Vegetación Normalizado), como otro parámetro que denota el funcionamiento ecosistémico y la incidencia de factores antropogénicos sobre los sistemas.

Área de Estudio

El área estudiada corresponde a la localidad de Vinalito situada al noreste de la provincia argentina de Jujuy ($23^{\circ} 39' 44.39''$ S $64^{\circ} 24' 43.73''$ O), en el departamento Santa Bárbara (Fig. 1h). Vinalito se encuentra a 3 Km. del Río San Francisco, a 1 Km de la Ruta Provincial 37 y a 6 Km de la localidad de Yuto, y cuenta con una población general de 1182 habitantes y un total de 332 casas asignadas según datos tomados en el puesto de salud de la localidad en marzo del 2013, durante el viaje a campo realizado para la presente tesis.

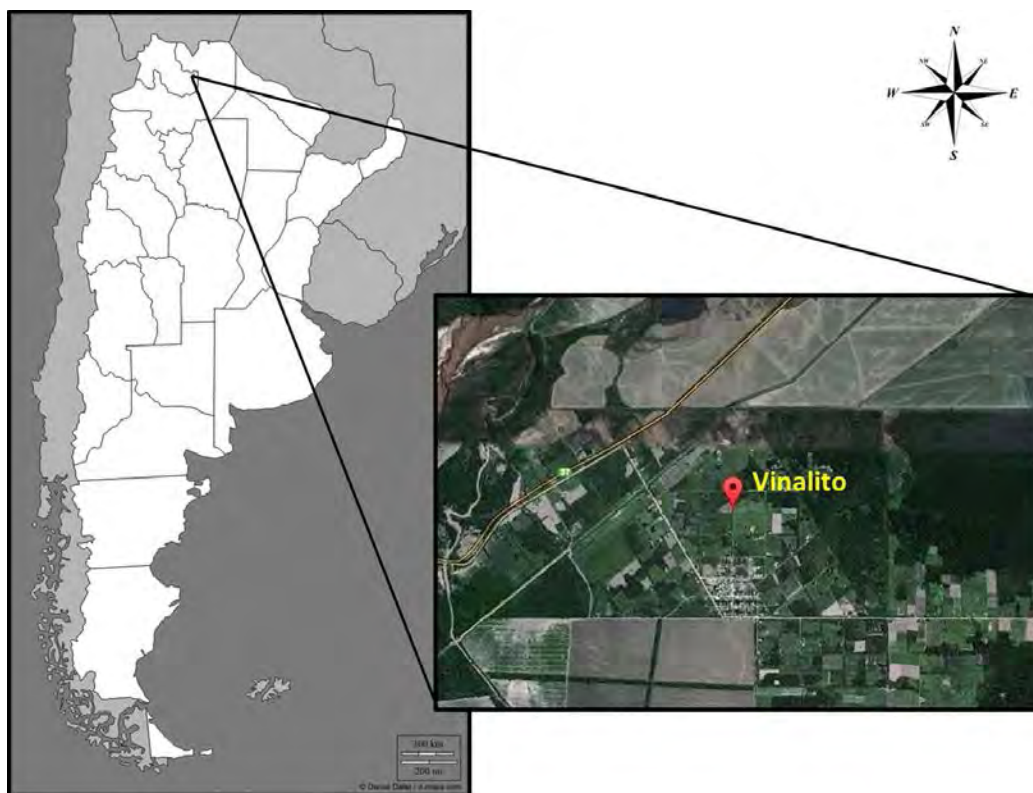


Figura 1h: Ubicación de la localidad de Vinalito en la provincia de Jujuy, Argentina.

Emplazada en una altitud de 344 m.s.n.m es la comunidad más importante de la parte baja de la Cuenca del Arroyo Santa Rita (Fig. 1i). Desde el punto de vista biogeográfico la zona es representativa del ecotono entre la región fitogeográfica de Yungas y Chaco Serrano, el clima de la cuenca es subtropical con veranos de temperaturas elevadas e inviernos suaves. Las precipitaciones son estivales, registrándose una media de entre 550 y 750 mm anuales.

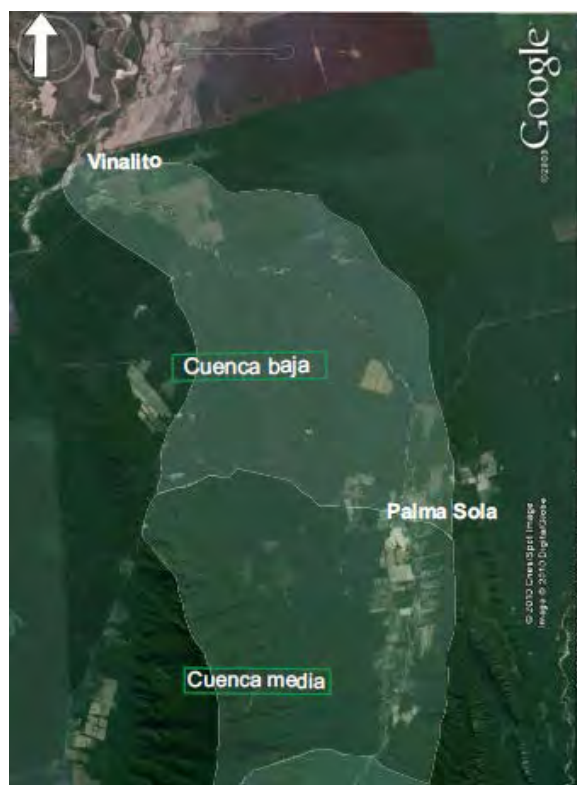


Figura 1i: Principales localidades de la Cuenca del Arroyo Santa Rita.

El mosaico productivo alterna ganadería vacuna extensiva con espacios de pastoreo cada vez más restringidos, con cultivos de maíz, zapallo, maní, algo de cría de animales de granja y producción hortícola como chaucha y pimiento. Desde el punto de vista social, la población de Vinalito es sumamente vulnerable ante el riesgo ambiental, relacionado a la dinámica fluvial del área. Hay registro de varios episodios, que además de cobrar víctimas

humanas y daños materiales, ha derivado en el traslado del pueblo en tres oportunidades (1974, 1984 y 1994) debido a las crecidas del arroyo Santa Rita y el río San Francisco (Failde de Calvo *et al.*, 2010).

Las precipitaciones en la parte baja de la cuenca son estivales, como ya se mencionó anteriormente, encontrando los máximos registros en el mes de enero, mayores al resto de la cuenca. La Figura 1j muestra una serie histórica de datos de precipitaciones tomados sobre el río San Francisco para la parte baja de la cuenca (en donde se encuentra Vinalito) por la empresa EVARSA (Evaluación de Recursos S. A.).

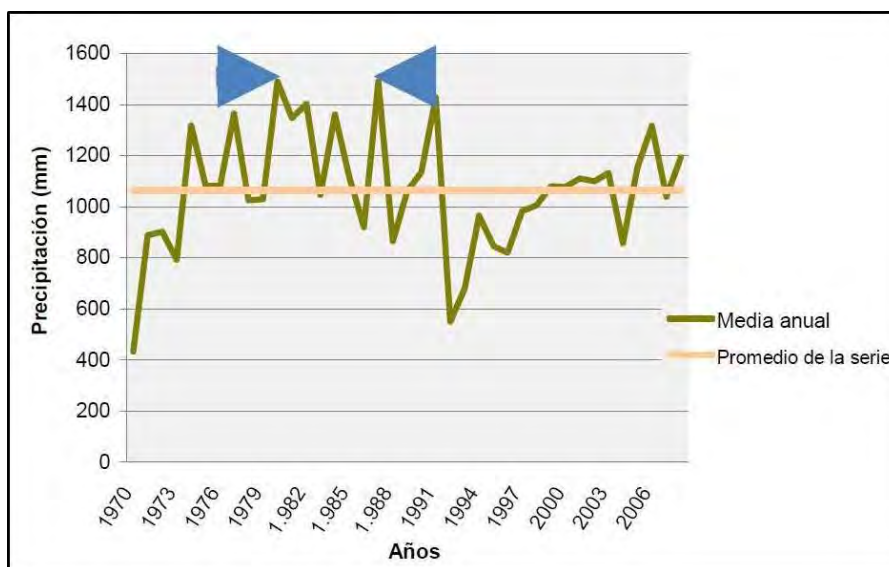


Figura 1j: Río San Francisco. Precipitaciones medias anuales y promedio. Período 1970-2006. EVARSA. Los valores más relevantes se agrupan en los ciclos de 1970 a 1991. Tomado de Failde de Calvo *et al.*, 2010.

De 462 casos autóctonos de LC registrados para la provincia de Jujuy en el período 1985-2012, el departamento Santa Bárbara notificó 129 casos (Fig. 1k), siendo junto a los departamentos Ledesma y San Pedro los principales proveedores de casos autóctonos de Leishmaniasis en Jujuy (Ripoll, 2012).

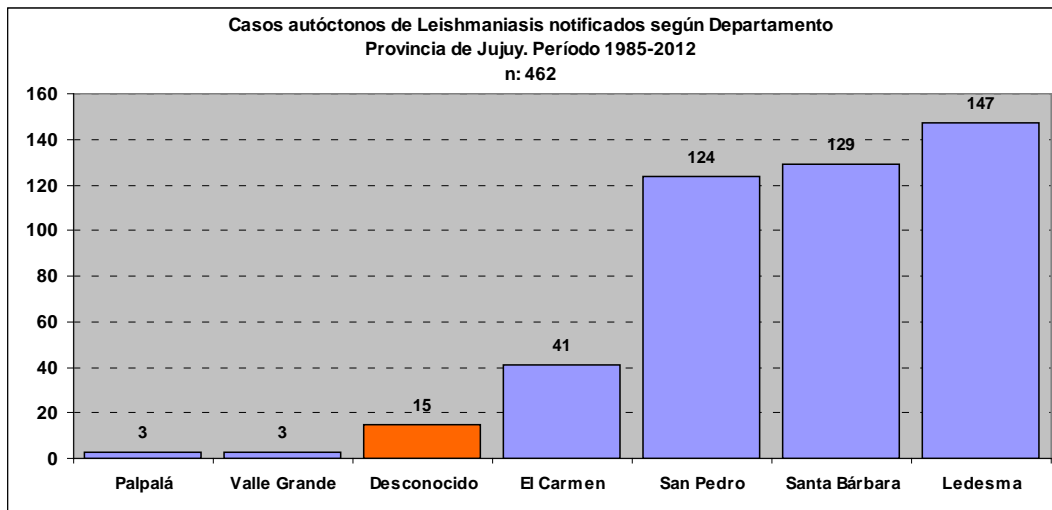


Figura 1k: Casos autóctonos de LC notificados en el período 1985-2012 según Departamento de la provincia de Jujuy, Argentina.

Objetivos

Objetivo Principal: El objetivo principal es analizar los factores espacio-temporales que influyeron en la ocurrencia del brote de LC ocurrido en Vinalito, provincia de Jujuy en el año 1990, a partir del uso de imágenes de satélite, como así también explorar variables ambientales que pudieran haber influido en la generación del mismo.

Objetivos Específicos:

1. Identificar y cuantificar el cambio de cobertura del suelo antes y después del desplazamiento en el área de estudio utilizando imágenes Landsat 5TM.
2. Identificar cambios funcionales de la vegetación en el período estudiado a través del cálculo de índices (NDVI) utilizando imágenes Landsat 5TM.
3. Estudiar la vinculación funcional y potenciales relaciones de causa-efecto entre los procesos de cambios ambientales con la epidemiología de la leishmaniasis.
4. Caracterizar el brote registrado en estudio.

La tesis está conformada por capítulos: el presente capítulo, Capítulo I, abarca la introducción y se presentan la problemática, el área de estudio y los objetivos de la tesis, en el Capítulo II se muestra el análisis realizado con las imágenes satelitales, el Capítulo III aborda el análisis epidemiológico del brote estudiado; y finalmente en el Capítulo IV se plantea la discusión y sugerencias.

Capítulo II

Análisis de imágenes satelitales. Usos y cambio de cobertura en Vinalito y Yuto

Los objetivos de este capítulo se corresponden con los objetivos 1 y 2 detallados en el Capítulo I: 1) Identificar y cuantificar el cambio de cobertura del suelo antes y después del desplazamiento en el área de estudio utilizando imágenes Landsat 5TM, y 2) Identificar los cambios funcionales de la vegetación en el período estudiado a través del cálculo de índices (NDVI) utilizando imágenes Landsat 5TM; con el fin de extraer aquella información ambiental que pudiera estar relacionada al evento de Leishmaniasis ocurrido en el año 1990 en Vinalito. Para esto se utilizó una serie temporal de las imágenes Landsat 5TM sobre la cual se realizaron diferentes procedimientos que serán descritos en esta sección de la tesis.

Imágenes Landsat 5TM

Diez imágenes Landsat 5TM (Tabla 1) fueron obtenidas gratuitamente del Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>). Se seleccionaron las imágenes de archivo de aquellas fechas en que la cobertura nubosa permitiera observar la zona de Vinalito, correspondiendo la primera al año 1984 y la última al año 1991, perteneciendo cinco de ellas a 1990, año en que se registró el brote de LC en la zona. Se seleccionó una ventana temporal que permitiera observar los cambios ocurridos desde varios años antes del brote y hasta un año después de ocurrido el mismo, para facilitar la comprensión de los procesos ecológicos y antrópicos que pudieran haber ocurrido. La elección de usar imágenes Landsat 5TM fue por su amplio rango temporal de adquisición (desde 1976 hasta junio de 2013) y porque constituyen la fuente de histórica más extensa

y coherente de datos espaciales para la zona estudiada. El área de estudio se encuentra incluida dentro de la escena del satélite Landsat 5TM en el path 230 / row 077. Con una resolución espacial de 30 m, cada escena tiene una superficie aproximada de 180 x 175 Km. El sistema de coordenadas geográficas usado es UTM (Universal Transverse Mercator) con base en el modelo del elipsoide WGS84 (World Geodetic System 1984).

| AÑO | FECHA | PATH/ROW | DESCRIPCION | FUENTE DE ADQUISICION | BANDAS | FORMATO DEL ARCHIVO | SISTEMA DE REFERENCIA |
|------|---------------|----------|-------------|-----------------------|--------|---------------------|-----------------------|
| 1984 | 30 Septiembre | 230/077 | Landsat 5TM | USGS | 1 a 7 | TIF | WGS84 |
| 1986 | 20 Septiembre | 230/077 | Landsat 5TM | USGS | 1 a 7 | TIF | WGS84 |
| 1987 | 11 Junio | 230/077 | Landsat 5TM | USGS | 1 a 7 | TIF | WGS84 |
| 1989 | 19 Agosto | 230/077 | Landsat 5TM | USGS | 1 a 7 | TIF | WGS84 |
| 1990 | 26 Mayo | 230/077 | Landsat 5TM | USGS | 1 a 7 | TIF | WGS84 |
| 1990 | 27 Junio | 230/077 | Landsat 5TM | USGS | 1 a 7 | TIF | WGS84 |
| 1990 | 30 Agosto | 230/077 | Landsat 5TM | USGS | 1 a 7 | TIF | WGS84 |
| 1990 | 15 Septiembre | 230/077 | Landsat 5TM | USGS | 1 a 7 | TIF | WGS84 |
| 1990 | 1 Octubre | 230/077 | Landsat 5TM | USGS | 1 a 7 | TIF | WGS84 |
| 1991 | 5 Enero | 230/077 | Landsat 5TM | USGS | 1 a 7 | TIF | WGS84 |

Tabla 1: Listado de imágenes Landsat utilizadas para las clasificaciones.

Pre-procesamiento

Los datos que vienen almacenados en las imágenes son valores o niveles digitales (ND) que no representan de manera directa ninguna variable biofísica y, por lo tanto, no es conveniente realizar operaciones sobre las imágenes usando estos valores "crudos". Los niveles digitales no proporcionan información sobre la reflectancia espectral de la superficie terrestre, por lo que es necesario convertir dichos valores ND en valores de reflectancia, este proceso hace comparables imágenes de las mismas áreas pero de distinta fecha (Brizuela *et al.*, 2007). Este proceso se realiza en dos etapas: la primera es la conversión de ND a Radiancia (Ecuación 1), esta etapa se conoce como calibración radiométrica; y la segunda comprende la conversión de Radiancia a Reflectancia Aparente (Ecuación 2), es decir, el cálculo de la reflectancia en el sensor.

Ecuación 1 (Chander, 2009)

$$L_{\lambda} = LMIN_{\lambda} + \left(\frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN} \right) (QCAL - QCALMIN)$$

ó

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \times QCAL + B_{rescale}$$

donde:

$$G_{rescale} = \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCALMAX - QCALMIN}$$

$$B_{rescale} = \left(\frac{LMAX - LMIN}{QCALMAX - QCALMIN} \right) QCALMIN$$

donde: **QCAL**: ND (generalmente QCALmin=0 y QCALmax=255), **L_λ**: radiancia espectral, **LMIN_λ**: radiancia espectral escalada a QCALmin, **LMAX_λ**: radiancia espectral escalada QCALmax, **G_{rescale}**: factor de ganancia (gain) de reescalamiento banda – específico, **B_{rescale}**: factor de compensación (bias) de reescalamiento banda – específico.

Ecuación 2 (Chander, 2009)

$$\rho_P = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \cdot \cos \theta_S}$$

donde: ρ_P : reflectancia planetaria π : constante matemática igual a ~ 3.14159 L_λ : radiancia espectral, d : distancia Tierra-Sol en unidades astronómicas ($1.49597870 \cdot 10^{11}$ m), $ESUN_\lambda$: irradiancia exoatmosférica media del sol, θ_S : ángulo solar en el zenit (en grados).

Estas conversiones se realizan mediante las citadas ecuaciones matemáticas que involucran diferentes parámetros y datos descritos en los metadatos que se adquieren junto a las imágenes al ser descargadas. Diversos softwares, entre ellos ENVI, operan de manera que cuando el usuario lleva a cabo estas correcciones, estos datos se leen de manera automática.

Las imágenes que se adquirieron del USGS tienen un nivel de procesamiento 1T (Standard Terrain Correction), el cual provee una precisión geométrica y radiométrica sistemática, ya que incorpora puntos de control en terreno empleando un modelo de elevación digital (DEM) que le proporciona exactitud topográfica. De esta manera el pre procesamiento realizado fue la conversión ND \rightarrow Radiancia \rightarrow Reflectancia.

Para calibrar las imágenes Landsat usadas en esta tesis, se utilizó R. R es un lenguaje y entorno de programación para análisis estadístico y gráfico, pero debido a que es un proyecto abierto y colaborativo sus usuarios pueden publicar paquetes que extienden su configuración básica. Se utilizó el paquete "Landsat", disponible para realizar la corrección necesaria en las imágenes adquiridas de manera rápida, a través de un corto script que se muestra debajo (*). Este paquete, está disponible en el "Comprehensive R Archive Network" (<http://CRAN.R-project.org/package=landsat>), y proporciona herramientas básicas para trabajar con imágenes de satélite, como son la georreferenciación automática y la detección de nubes. Contiene también funciones para la normalización radiométrica, y varios enfoques diferentes para la corrección atmosférica (Goslee, 2011).

El script utilizado para la calibración, permite calcular la reflectancia espectral de las bandas a partir de los valores ND de las mismas, excepto la banda termal (B6). Como resultado se obtiene un archivo .tif que contiene las 6 bandas (1, 2, 3, 4, 5 y 7) en valores de reflectancia.

```
(*  metafile <-("LT52300771984274XXX03_MTLold")  
  
    img <- landsat(metafile)  
  
    ref <- dn2ref(img,"RUTA DEL ARCHIVO/Landsat5_1984_Vinalito.tif")
```

Procesamiento

Esta etapa del trabajo comprende todos aquellos procedimientos llevados adelante para conseguir la detección de cambios ambientales que pudieran haber influido en el brote de LC. Para todos los procesos que se realizaron en las imágenes se utilizó el programa ENVI® 4.8.

Dado que las imágenes se obtuvieron georreferenciadas, lo primero que se realizó fue un recorte de una sección de cada imagen en donde se encontrara el área de estudio, para esto se creó un vector con el fin de conseguir el mismo recorte (de 12 x 19 Km) para cada una de las 10 imágenes (Fig. 2a).

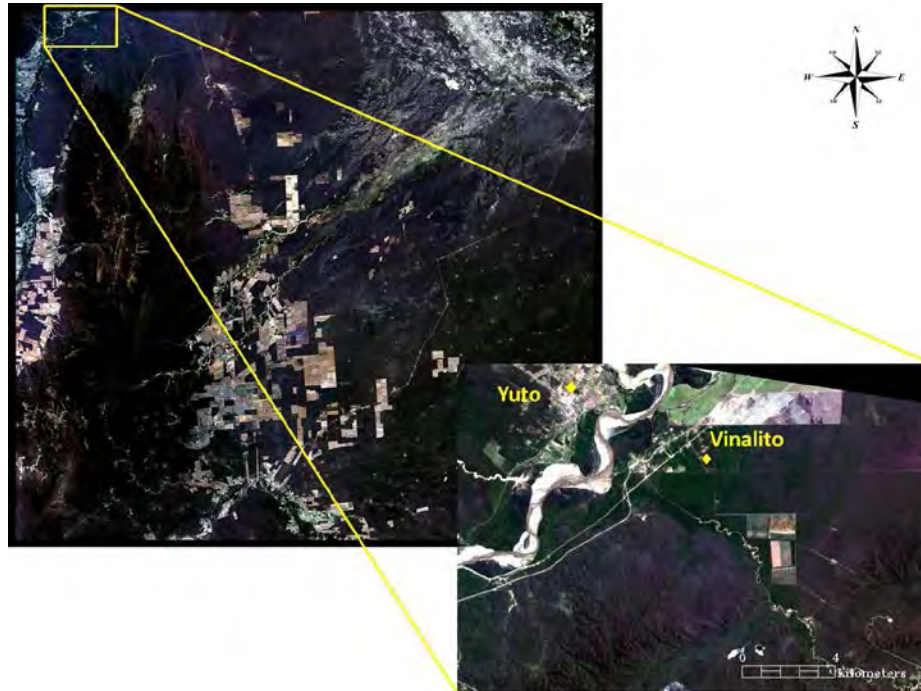


Figura 2a: A la izquierda se ve una de las escenas 230/077 de Landsat 5 que se obtuvieron. Abajo a la derecha se observa el recorte realizado en cada una de las diez imágenes, que contiene las localidades de Vinalito y Yuto.

Se eligió la ciudad vecina a Vinalito, Yuto, para realizar comparaciones en los cambios ocurridos en el período estudiado, ya que en Yuto no ocurrió un brote de LC pero sí contamos con números de casos en estos años. Por esto, luego de clasificar este recorte, se recortó nuevamente la imagen, para separar el área de Vinalito de Yuto (Fig. 2b), con el fin de realizar las comparaciones y analizar si los cambios ambientales en cada una de ellas estuvo relacionado al número de casos que se registraron.

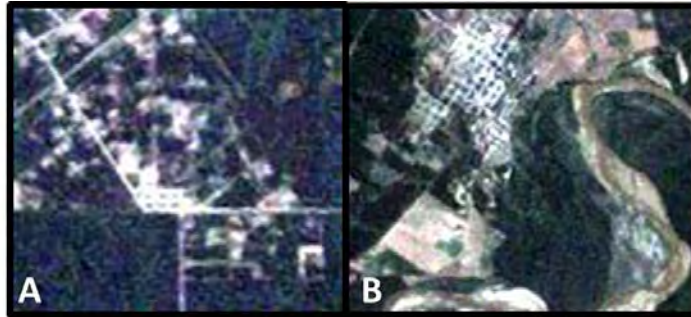


Figura 2b: La Figura A (3 x 3 Km) corresponde a la imagen recortada en la zona de Vinalito y la B (4 x 4 Km) en la zona de Yuto.

Clasificaciones

La clasificación digital es un proceso que consiste en la agrupación automática de los píxeles de una imagen multiespectral, cuyo fin es obtener un mapa digital sintético. De esta forma los valores asociados a cada píxel de la imagen, son identificados como un tipo de cobertura de la superficie terrestre. Generalmente las agrupaciones se basan en las similitudes entre los valores numéricos que las definen (reflectancia) en distintas categorías, ya sean predefinidas por el usuario (clasificación supervisada) o por el sistema de clasificación utilizado (clasificación no supervisada); de este proceso resulta un archivo raster temático de una sola banda, con diferentes categorías, cuyos valores representan categorías temáticas conocidas o por definir (Chuvienco, 2010).

Clasificaciones No Supervisadas

En primer lugar se realizaron clasificaciones no supervisadas en las imágenes, utilizando el algoritmo ISODATA (“Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique”), el cual consiste en determinar la distancia espectral mínima para formar agrupaciones de píxeles que

representan las clases. Este tipo de clasificación, agrupa píxeles de manera automática a una clase que no ha sido entrenada previamente, teniendo en cuenta parámetros estadísticos que buscan minimizar las desviaciones de las clases y maximizar la distancia al centro de cada grupo de píxeles encontrados (Lang *et al.*, 2008; Macedo-Cruz *et al.*, 2010). El método empieza con una agrupación promedio al azar de un conjunto de firmas espectrales, al repetirse el proceso de agrupación, el nuevo promedio es utilizado para la siguiente iteración, esto se hace consecutivamente, hasta que se realiza el máximo de iteraciones o se alcanza el máximo porcentaje de asignación de píxeles no combinados entre dos iteraciones. Entonces, ISODATA es utilizado para aquellas áreas en donde no se conocen detalles de la zona de estudio, generando un número arbitrario de clases consideradas por el investigador. Dos de las clasificaciones obtenidas con ISODATA pueden verse en la Figura 2c , estas sirvieron como base para conocer el número posible de clases a definir para las clasificaciones supervisadas.

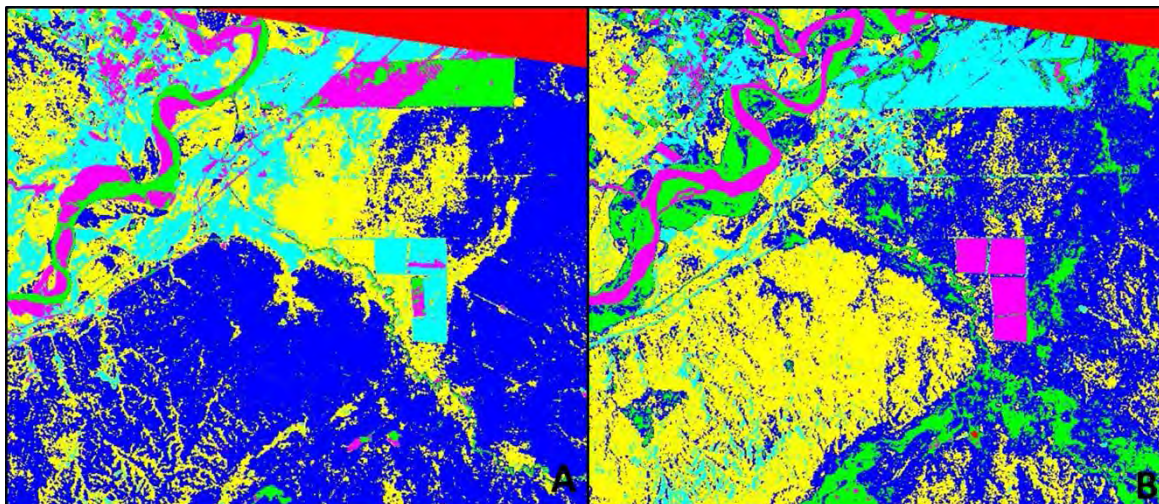


Figura 2c: Ejemplo de clasificaciones realizadas con el algoritmo ISODATA para el recorte que abarca Vinalito y Yuto. En la figura A y B se muestran las imágenes de 1984 y 1991 respectivamente, en ambas se definieron 6 clases de cobertura.

Clasificaciones Supervisadas

En base a la clasificación obtenida con ISODATA y con la ayuda de Google Earth se identificaron las regiones de interés (ROIs) anteriormente mencionadas (Fig. 2d).

Para llevar a cabo las clasificaciones de todas las imágenes fueron seleccionadas cinco regiones de interés de las diez imágenes, siempre tomando las muestras para las clases elegidas en las imágenes de cada fecha, con el fin de no tomar muestras erróneas (una muestra tomada en un año podría haber cambiado en la imagen siguiente). Las clases seleccionadas fueron: suelo desnudo, donde se incluyen áreas urbanas (SD), agua (A), cultivos (C), vegetación1 (V1) (vegetación un poco más seca) y vegetación2 (V2) (más densa).

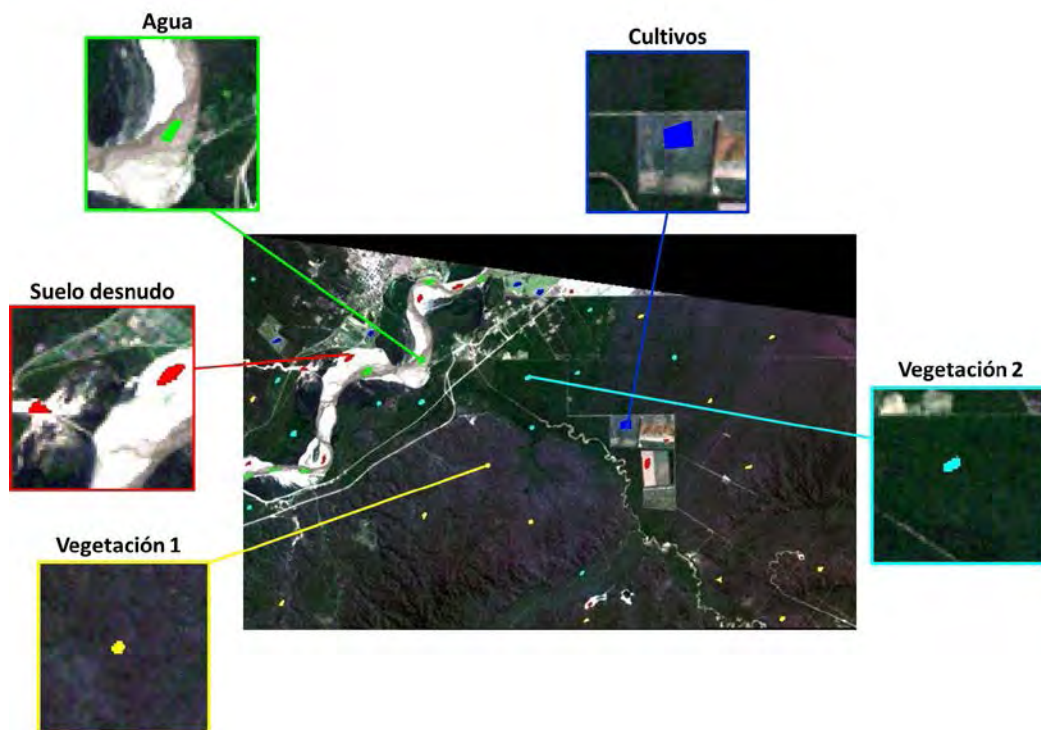


Figura 2d: Identificación de las ROIs de las clases a identificar en la zona de estudio.

Antes de realizar las clasificaciones y para entender la separabilidad espectral que las clases seleccionadas tienen entre sí, se realizaron boxplots para cada una de ellas en las 6 bandas que se utilizarían en la clasificación (1, 2, 3, 4, 5 y 7) sobre las imágenes del 30 de septiembre de 1984, 26 de mayo 1990 y 5 de enero de 1991 (Fig. 2e A, B y C) las cuales se utilizarán en el análisis de “Detección de Cambios”, detallado más adelante en este capítulo.

Estos gráficos muestran la separabilidad entre las clases de acuerdo al rango espectral al que corresponde la observación, así como también su dependencia de la época del año de la adquisición. En el caso de la vegetación este último factor influye en el estado fenológico de la misma (ya sea esta tanto natural como cultivada), por lo que en algunas épocas es más difícil diferenciarlas que en otras, como también depende de su composición química y el contenido de humedad. La separación entre las clases influye directamente en los resultados que se obtienen en las clasificaciones y es por eso uno de los puntos más importantes a observar y comprender antes de realizar los mapas de coberturas.

La clase suelo desnudo es la más amplia ya que tiene mucha variabilidad, en este caso es porque abarca varias coberturas de alta reflectividad que no se pueden separar, como son las zonas con cemento, los techos y el mismo suelo que está expuesto. Es por esto que se decidió tomar todos estos tipos de coberturas dentro de una sola, evitando así confusiones debido a la similitud en su respuesta.

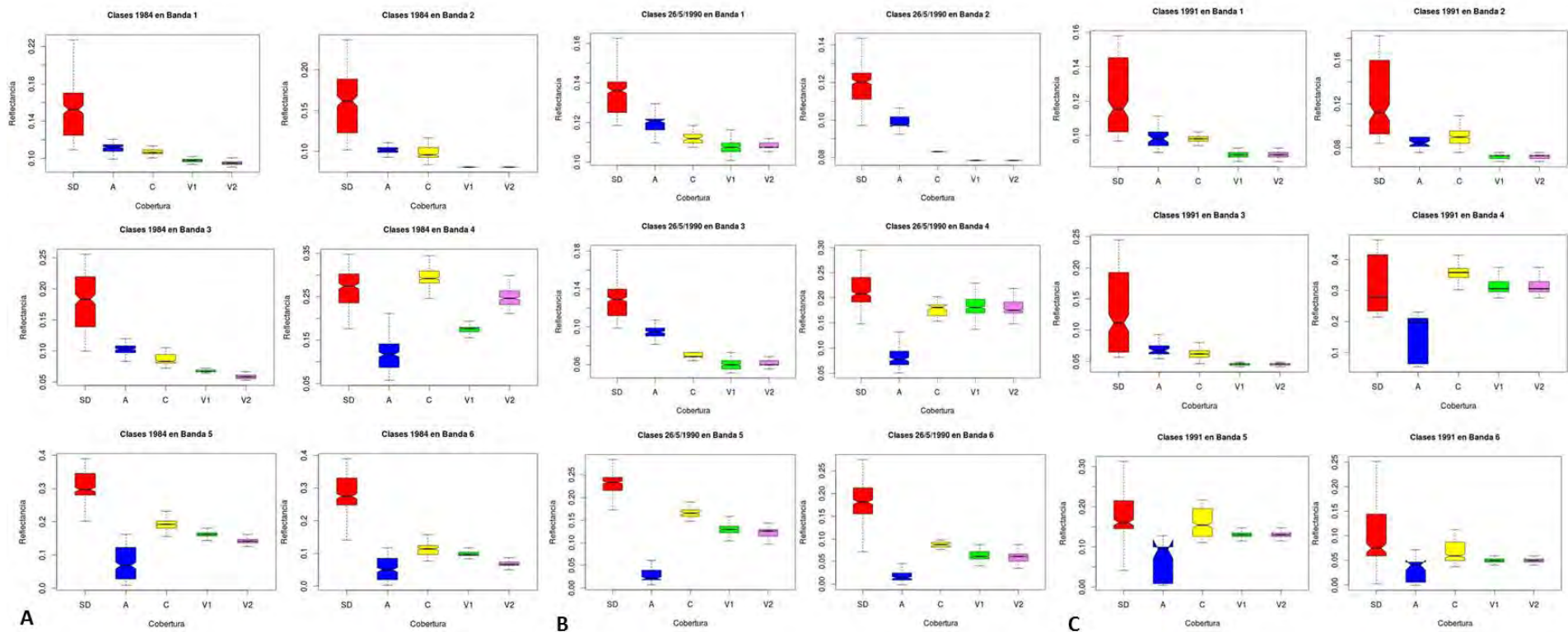


Figura 2e: Las figuras A, B y C muestran los boxplots realizados para entender la separabilidad espectral de las clases en cada banda. A: 1984, B: 1990 y C: 1991. Las clases analizadas son: **suelo desnudo (SD)**, **agua (A)**, **cultivos (C)**, **vegetación 1 (V1)** y **vegetación 2 (V2)**.

Se realizaron las clasificaciones supervisadas usando los clasificadores Maximum Likelihood (MLE) y Support Vector Machine (SVM). El primero asume una distribución normal de las clases mientras que SVM es una técnica de aprendizaje estadística no paramétrica, por lo tanto, no se asume ninguna distribución de los datos subyacente. En este último método, dado un conjunto de muestras podemos etiquetar las clases y entrenar una SVM para construir un modelo que prediga la clase de una nueva muestra. Una SVM es un modelo que representa a los puntos de la muestra en el espacio, separando las clases por un espacio lo más amplio posible. Cuando las nuevas muestras se ponen en correspondencia con dicho modelo, en función de su proximidad pueden ser clasificadas a una u otra clase. En su formulación original (Vapnik, 1979) el método se presenta con un conjunto de datos etiquetados y el algoritmo de entrenamiento de SVM tiene como objetivo encontrar un hiperplano que separa el conjunto de datos en un número predefinido discreto de clases de una manera coherente con los ejemplos de entrenamiento. El término “hiperplano óptimo de separación” se utiliza para referirse a la frontera de decisión que minimiza los errores de clasificación, obtenidos en la etapa de formación. Este modelo es particularmente atractivo en el campo de la teledetección por su capacidad para manejar con éxito pequeños conjuntos de datos de entrenamiento, a menudo produciendo una mayor precisión en la clasificación que los métodos tradicionales (Mantero *et al.*, 2005). Las SVM minimizan los errores de clasificación en los datos, sin ideas preconcebidas sobre la distribución de probabilidad de los mismos (Mountrakis *et al.*, 2011).

Como resultado, se obtuvieron las imágenes clasificadas con SVM en donde cada color representa una clase. Las clasificaciones se realizaron en la imagen que abarca tanto la localidad de Vinalito como la de Yuto, y luego se realizaron los recortes, obteniendo así dos series de mapas de cobertura: Vinalito (Fig. 2f) y Yuto y alrededores (Fig. 2g).

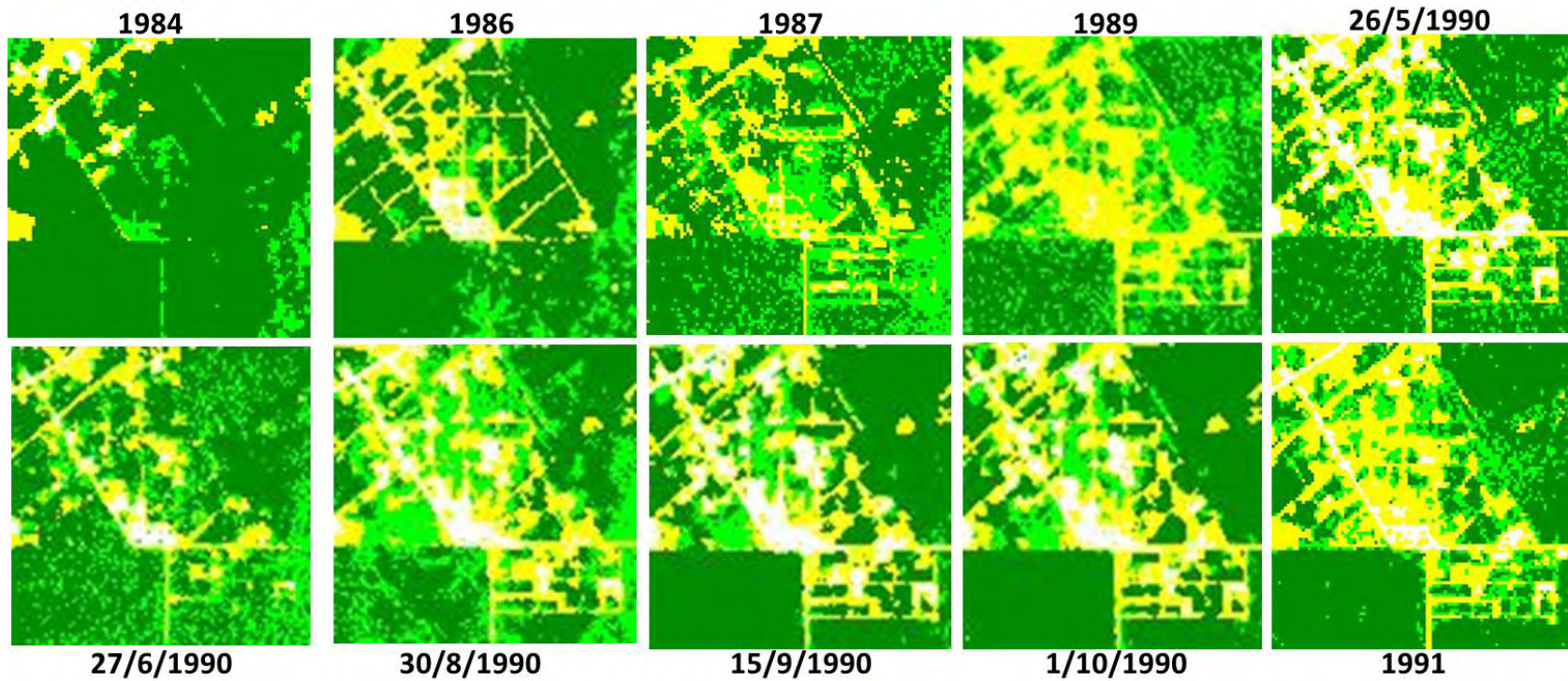


Figura 2f: Serie temporal de clasificaciones supervisadas para Vinalito. Las imágenes corresponden a los mapas de cobertura obtenidos con SVM.
Referencias: Suelo desnudo y Urbano (**Blanco**), Agua (**Cyan**), Cultivos (**Amarillo**), Vegetación 1 (**Verde Claro**), Vegetación 2 (**Verde Oscuro**).

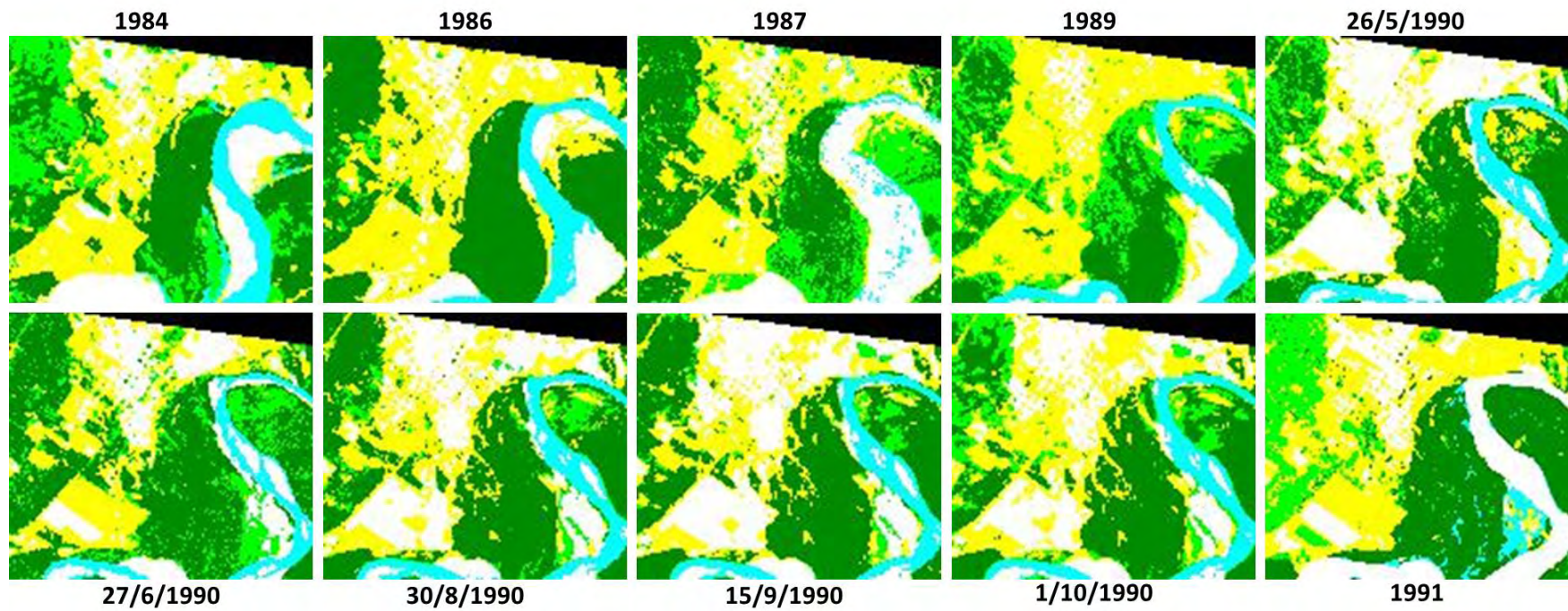


Figura 2g: Serie temporal de clasificaciones supervisadas en la zona de Yuto. Las imágenes corresponden a los mapas de cobertura obtenidos con SVM. Referencias: Suelo desnudo y Urbano (**Blanco**), Agua (**Cyan**), Cultivos (**Amarillo**), Vegetación 1 (**Verde Claro**), Vegetación 2 (**Verde Oscuro**), No Clasificado (**Negro**).

Validación de las Clasificaciones

Se validaron las clasificaciones para evaluar la precisión de los productos obtenidos. Las muestras para validar las clasificaciones se tomaron sobre las imágenes con la ayuda de Google Earth, tomando 50 píxeles por clase como mínimo siguiendo el criterio recomendado por Chuvieco (2010). Se calcularon las Matrices de Confusión para las 10 clasificaciones. Este método (Matriz de Confusión) consiste básicamente en: (a) conocer la exactitud de la clasificación comparando muestras de píxeles en la imagen original con los correspondientes de la imagen clasificada, y (b) cuantificar la exactitud en porcentaje de píxeles clasificados correctamente dentro de esa clase, los faltantes (por error de omisión: aquellos píxeles que el método de clasificación no incluyó correctamente a la clase a la que pertenecen) y los sobrantes (por error de comisión: aquellos píxeles que pertenecen a otra clase). Se obtuvieron 10 matrices de confusión (ver en Anexo todas las matrices completas) en las que el 80% de las imágenes alcanzó un mayor promedio de exactitud en las clasificaciones cuando se utilizó el clasificador SVM, y el 90% obtuvo coeficientes Kappa mayores a 0.7 (Tabla 2). El estadístico Kappa toma valores entre 0 y 1, indicando un acuerdo pleno entre la realidad y el mapa cuando es cercano a 1, mientras que cuando es cercano a 0 sugiere que el arreglo observado es debido al azar. En este caso particular, 9 de las 10 de las clasificaciones realizadas son mayores al 70% que lo que se esperaría por azar. En la Tabla 3 se presentan los porcentajes de muestra que fueron correctamente clasificados en las diez fechas clasificadas, detallado por clases.

Por todo lo mencionado, los análisis posteriores a las clasificaciones se realizaron utilizando los mapas obtenidos con este clasificador.

| SVM | 30/3/1984 | 20/9/1986 | 11/6/1987 | 19/8/1989 | 26/5/1990 | 27/6/1990 | 30/8/1990 | 15/9/1990 | 01/10/1990 | 05/1/1990 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| Precisión | 99,52% | 87,64% | 78,74% | 81,61% | 76,37% | 77,72% | 87,48% | 96,77% | 97,49% | 91,21% |
| Kappa | 0,99 | 0,84 | 0,72 | 0,76 | 0,68 | 0,71 | 0,83 | 0,95 | 0,96 | 0,88 |

Tabla 2: Promedio de exactitud y Kappa obtenidos de clasificar la imágenes con el clasificador SVM.

| | 30/9/1984 | 20/9/1986 | 11/6/1987 | 19/8/1989 | 26/5/1990 | 27/6/1990 | 30/8/1990 | 15/9/1990 | 1/10/1990 | 5/1/1990 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| SD | 100 | 98,26 | 97,69 | 100 | 91 | 89,62 | 99,23 | 97,46 | 96,15 | 100 |
| AGUA | 100 | 100 | 68,57 | 98,84 | 98,41 | 100 | 98,15 | 100 | 97,65 | 98,11 |
| CULTIVOS | 99,03 | 95,19 | 99,53 | 87,03 | 48,39 | 100 | 94,07 | 95,76 | 95,76 | 88,14 |
| VEG 1 | 99,05 | 64,29 | 47,14 | 65,82 | 65,19 | 43,04 | 83,54 | 94,94 | 98,10 | 85,11 |
| VEG 2 | 100 | 92,81 | 79,14 | 66,19 | 74,82 | 79,86 | 71,22 | 97,84 | 98,93 | 87,21 |

Tabla 3: Porcentaje de muestras correctamente clasificadas, por clase. Datos extraídos de las matrices de confusión.

Se cuantificó el porcentaje que cada cobertura ocupaba en las imágenes utilizando la herramienta “Class Distribution” de ENVI. De este modo se construyeron gráficas que muestran estos valores, tanto para los recortes clasificados de Vinalito como de Yuto (Fig. 2h).

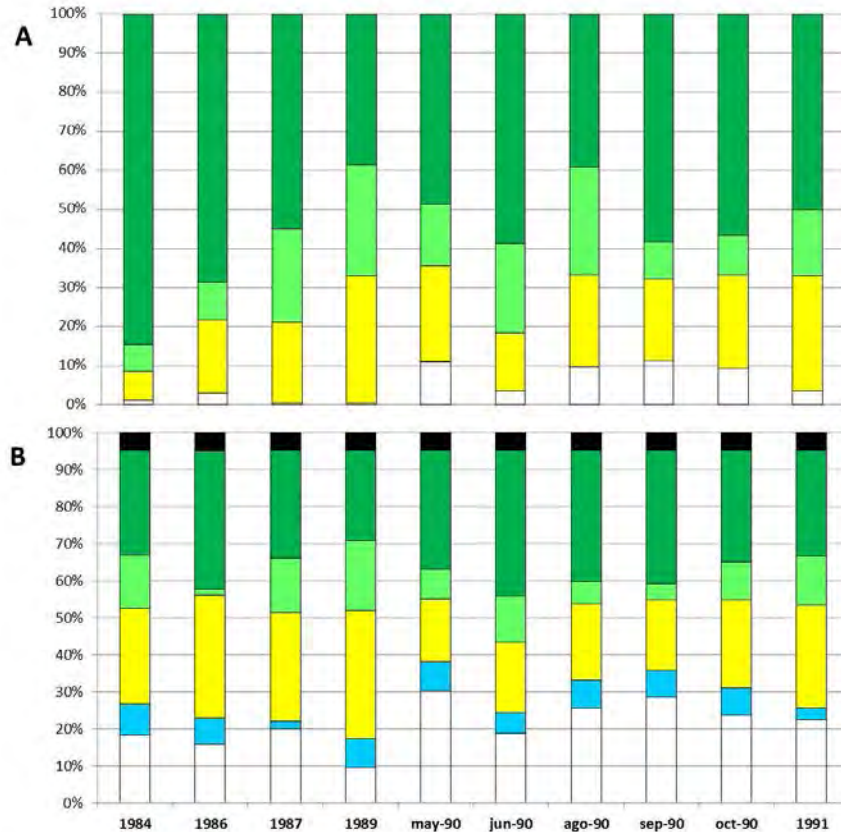


Figura 2h: Gráficas de porcentaje de cada tipo de cobertura para las diez imágenes clasificadas en ambas series, la figura **A** corresponde a la serie de Vinalito y la **B** a la serie de Yuto. Referencias: Suelo desnudo y Urbano (**Blanco**), Agua (**Cyan**), Cultivos (**Amarillo**), Vegetación 1 (**Verde Claro**), Vegetación 2 (**Verde Oscuro**), No Clasificado (**Negro**).

En la Figura 2h A se observa el porcentaje que cada cobertura ocupaba en las imágenes de cada uno de los 10 años analizados en Vinalito. El primer año (1984) se observa que el mayor porcentaje está cubierto por la vegetación de tipo 2, aquella que según el criterio al tomar las muestras corresponde a la vegetación más densa, probablemente parches no modificados. Luego en mucho menor porcentaje están los cultivos, la vegetación tipo 1 (vegetación que es probablemente secundaria, la que aparece luego de alteraciones humanas del paisaje) y por último suelo desnudo que no incluye construcción urbana en este momento. Esta distribución de las coberturas en 1984 es debido a que en este sitio recién estaba instalándose el poblado de Vinalito luego de la crecida del Arroyo Santa Rita

que provocó el traslado del pueblo hacia este nuevo emplazamiento, por lo que encontramos vegetación en su mayor parte natural, algo de tierras cultivadas y vegetación sucedánea. En la imagen de 1986 se nota un aumento en el porcentaje de cultivos y vegetación de tipo 1, como así también en el suelo desnudo que en este momento ya incluye un pequeño núcleo urbano, en cambio la vegetación tipo 2 se ve algo disminuida en porcentaje. En los siguientes dos años (1987 y 1989) se nota un importante aumento en la superficie cultivada, como una disminución en ambos tipos de vegetación. En las cinco imágenes de 1990 aumenta el porcentaje de suelo desnudo con algunas variaciones dependiendo de la época del año, el porcentaje de cultivos se mantiene más o menos igual en los 5 años, la vegetación tipo 1 tiene algunas variaciones en este período aumentando en junio y agosto de 1990 y disminuyendo en septiembre y octubre de ese mismo año; la vegetación tipo 2 varía en pequeñas cantidades aumentando y disminuyendo sucesivamente. El último año de la serie, 1991, muestra una disminución en suelo desnudo probablemente porque la fecha corresponde a enero y solo se estaría tomando como suelo desnudo a la porción urbana de Vinalito. El porcentaje de cultivos es mayor que en la última imagen de 1990, como así también el porcentaje de vegetación tipo 2, y se observa una disminución en la vegetación de tipo 1.

En la serie de Yuto (Fig. 2h B) los porcentajes de coberturas a través de los años muestran cambios más uniformes y además aquí encontramos la cobertura "Agua" debido a la presencia de una parte del Río San Francisco en este recorte. A través de la serie las coberturas que mayores oscilaciones presentaron fueron cultivos y suelo desnudo, pero a diferencia de la serie Vinalito los cambios no son tan notorios.

DetECCIÓN DE CAMBIOS DE COBERTURAS

Para cuantificar los cambios ocurridos a través del tiempo en la zona de estudio, se realizó un análisis de detección de cambios utilizando las imágenes clasificadas de los años 1984, 1987, 26/5/1990 y 1991. Este análisis post-clasificador consiste en la comparación de los productos temáticos generados previamente de manera independiente y proporciona información sobre la cantidad (número de píxeles, porcentaje o unidad de área) de cada una de las clases que se transformó en otra clase o no cambió durante el período estudiado. De la comparación de las imágenes de satélite clasificadas se genera una matriz de detección de cambios, la cual sintetiza los cambios de un tiempo inicial t al tiempo final $t + n$, de las distintas categorías o clases de uso de suelo y vegetación representadas en los mapas (Tabla 4). Esto se realizó tanto imágenes de la serie “Vinalito” como también para la serie “Yuto”. El análisis se realiza utilizando las imágenes de a pares, es decir primero se comparan dos imágenes: en este caso el primero fue el par 1984_1987, el segundo 1987_26/5/1990, y por último se comparó el par 26/5/1990_1991.

| Percentages | | | | | | | |
|------------------|---------|---------|----------|---------|---------|-----------|-------------|
| | sd | agua | cultivos | veg1 | veg2 | Row Total | Class Total |
| sd | 36,43 | 62,20 | 10,25 | 9,23 | 14,60 | 100,00 | 100,00 |
| agua | 2,81 | 5,14 | 1,61 | 1,27 | 1,54 | 100,00 | 100,00 |
| cultivos | 36,39 | 13,32 | 65,83 | 18,67 | 7,20 | 100,00 | 100,00 |
| veg1 | 20,13 | 11,59 | 10,04 | 15,37 | 18,14 | 100,00 | 100,00 |
| veg2 | 4,24 | 7,75 | 12,28 | 55,46 | 58,52 | 100,00 | 100,00 |
| Class Total | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 0.000 | 0.000 |
| Class Changes | 63.573 | 94.859 | 34.168 | 84.632 | 41.478 | 0.000 | 0.000 |
| Image Difference | 9.649 | -76.466 | 14.262 | 1.524 | 2.719 | 0.000 | 0.000 |

Tabla 4: Matriz del porcentaje de cambios de las coberturas del suelo, se muestra el porcentaje de cada clase que cambió a otra o se mantuvo en la misma. En este caso la matriz corresponde a los cambios ocurridos entre 1984 y 1987 para el recorte en Vinalito.

En total se obtuvieron seis matrices de porcentaje de ambas series (tres para Yuto y tres para Vinalito), una para cada uno de los pares de años comparados. A partir de estos resultados, se realizaron gráficas que permitan observar mejor estos cambios. Las mismas se presentan en las Figura 2i y 2j. En la serie de Vinalito puede notarse que el suelo desnudo se transformó casi totalmente en cultivo, pero mantuvo su proporción en el tiempo (Fig. 2j). La clase cultivos es una clase por naturaleza variable en el tiempo, pero se observa un gran cambio de ésta a suelo desnudo en 1990, marcando la instalación del pueblo de Vinalito en la zona. La vegetación tipo 2 fue la clase con menos cambios para el período.

Se realizó un test de proporciones para analizar si las diferencias entre los cambios en las coberturas de Yuto y Vinalito fueron diferentes estadísticamente en los períodos analizados. Para esto se utilizó la función “prop.test” del software R. La misma sirve para contrastar las proporciones en los grupos comparados, en este caso las proporciones hacen referencia al cambio que tuvo cada clase de cobertura en ambas localidades comparadas. Los valores usados como referencia para el test fueron los valores de cambio en Yuto, que fueron comparados a los valores de cambio en Vinalito. Encontramos que el único cambio significativo ($p < 0,05$) se da en la clase suelo desnudo, el cual es, en proporción, significativamente mayor en Vinalito que en Yuto para el período 1987_1990, y esto coincide con el asentamiento del pueblo seguido por el brote de LC.

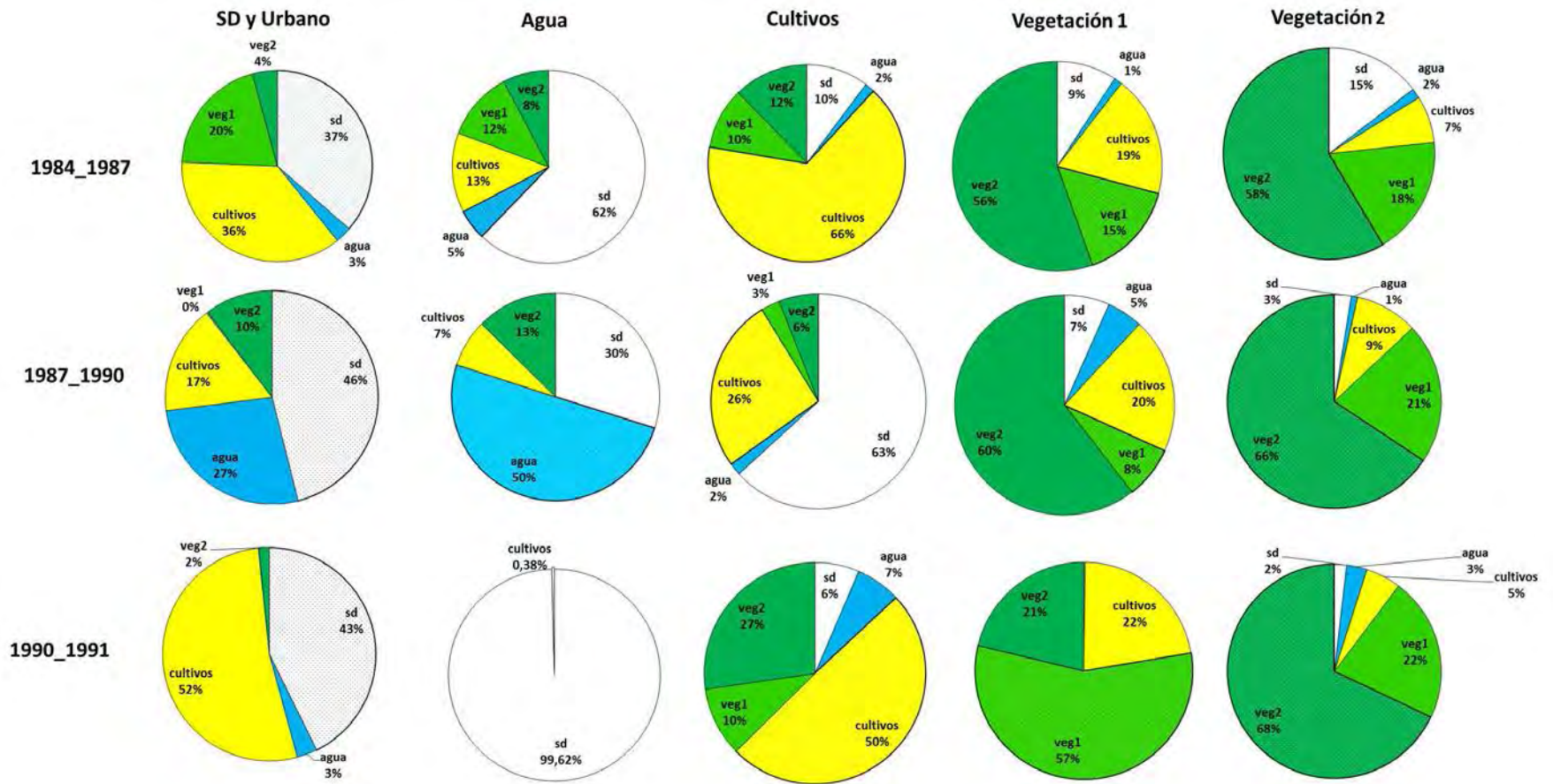


Figura 2i: La figura muestra los diagramas de torta realizados para visualizar el porcentaje de cada tipo de cobertura que cambió o se mantuvo en cada período en que se realizó la detección de cambios, en este caso para la serie de Yuto.

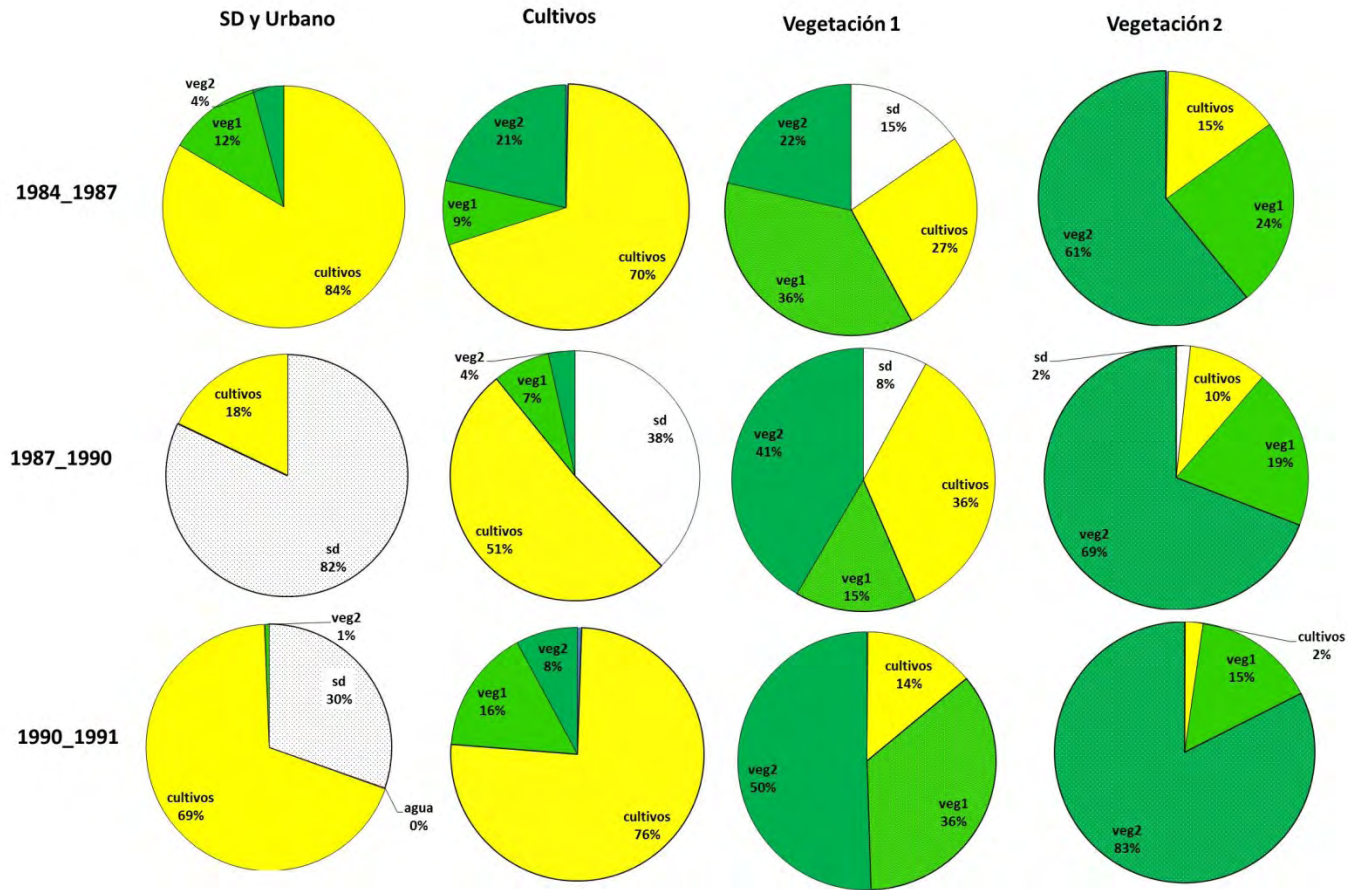


Figura 2j: La figura muestra los diagramas de torta realizados para visualizar el porcentaje de cada tipo de cobertura que cambió o se mantuvo en cada período en que se realizó la detección de cambios en la serie Vinalito. En este caso la clase agua no aparece en las imágenes por lo que no se obtuvieron gráficas.

Índice de vegetación normalizado (NDVI)

El NDVI es un índice usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base en la medición, por medio de sensores remotos, de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación absorbe o refleja. A causa de los pigmentos presentes en las hojas verdes, estas absorben energía en el rojo (R) (0.6 a 0.7 micrómetros) y reflejan en el infrarrojo cercano (IRc) (0.7 a 1.1 micrómetros), permitiéndonos discriminar las masas vegetales. En el caso del sensor Thematic Mapper de satélite Landsat 5, el rojo corresponde a la banda 3 y el infrarrojo a la banda 4.

El NDVI se calcula como el cociente entre la radiación reflejada sobre la radiación entrante en cada banda espectral individual:

$$NDVI = \frac{IRc - R}{IRc + R}$$

El índice toma valores entre -1 y 1 y proporciona información acerca del estado de “verdor” de la vegetación, indicando el estado de salud de la misma. En general, la vegetación sana absorbe la mayor parte de la luz visible que incide sobre ella, y refleja una gran parte de la luz del infrarrojo cercano, mientras la vegetación poco saludable o escasa refleja más luz visible y menos luz en el infrarrojo cercano. Los valores negativos extremos de NDVI representan el agua, los valores medios (alrededor de cero) representan suelo desnudo y aquellos que superan 0.6 representan densa vegetación verde.

Se calculó el NDVI en las 10 imágenes de cada una de las series, realizando una operación matemática siguiendo la ecuación de NDVI, utilizando la herramienta “Band Math” de ENVI. La operación consiste en abrir las bandas 3 y 4, involucradas en el cálculo, e introducir la fórmula:

$$NDVI = \frac{(b4) - b3}{(b4) + b3}$$

De esta manera, se calculó el índice en todas las imágenes, obteniéndose dos series de 10 imágenes (Vinalito y Yuto). Las imágenes resultantes son en blanco y negro, pasando por los grises, por esto y para lograr ilustrar mejor los valores que el NDVI tomó en las imágenes, se utilizó la herramienta “ENVI Color Table”, la cual permite colorear las imágenes en tonos degradados de acuerdo a los valores (de -1 a 1). En las Figuras 2k y 2l se muestran las series de NDVI tanto para Vinalito como para Yuto, en tonalidades de blanco a verde, de acuerdo a menores o mayores valores del índice.

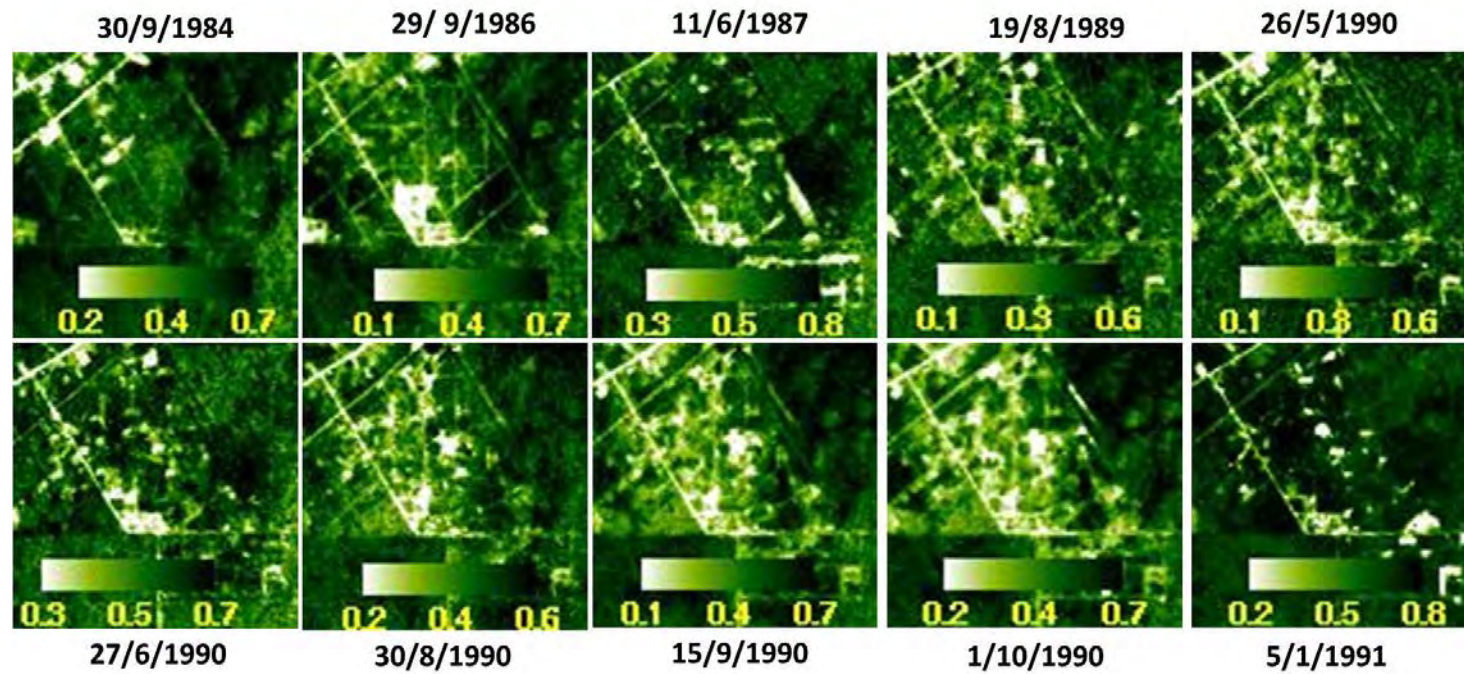


Figura 2k: Serie de NDVI para Vinalito. Se muestra para cada fecha la imagen y su correspondiente barra de color que indica el valor de NDVI en cada píxel.

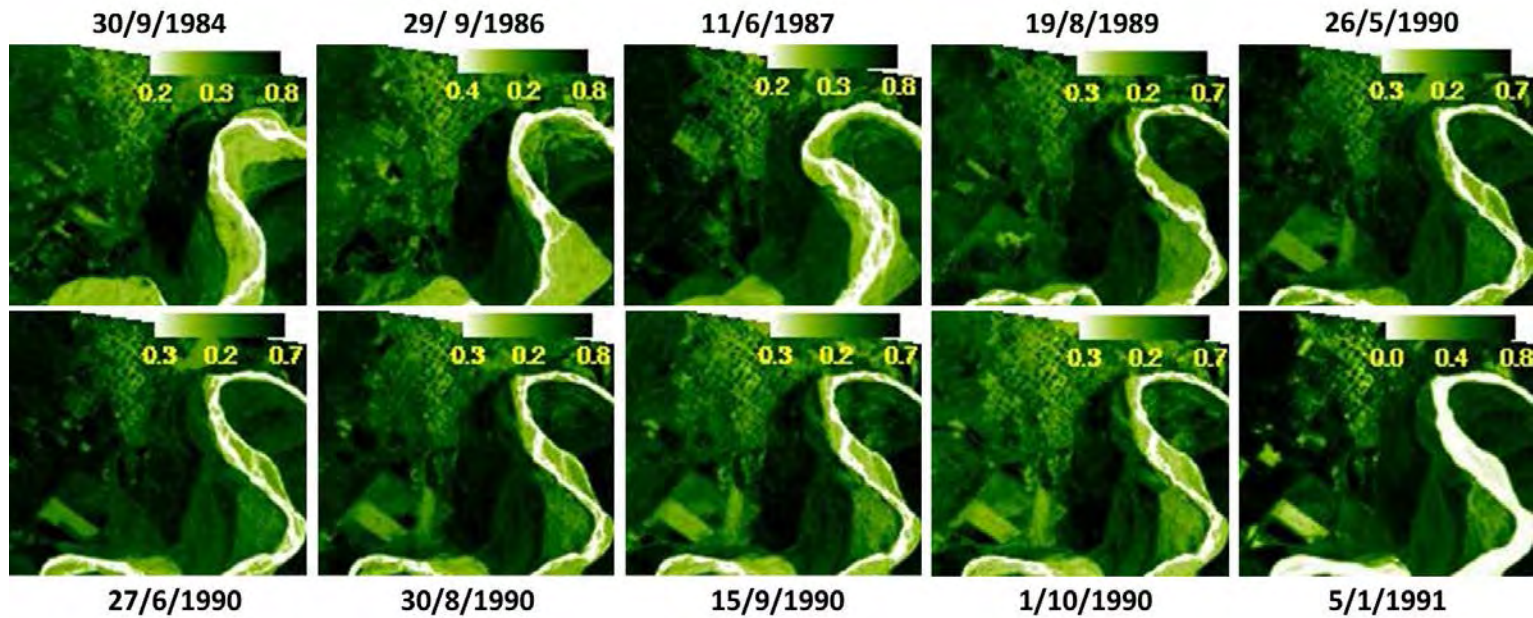


Figura 2l: Serie de NDVI para Yuto. Se muestra la imagen de cada fecha y su correspondiente barra de color que indica el valor de NDVI en cada píxel.

Mapas de Cambios en NDVI

Después de realizar los mapas de NDVI para cada fecha en ambas series, se utilizó la herramienta “Change Detection – Compute Difference Map” de ENVI para estimar el cambio que la vegetación tuvo en los mismos períodos en que se realizó la detección de cambios en las coberturas (1984-1987, 1987-26/5/1990 y 26/5/1990-1991). Este análisis necesita como input una imagen de NDVI que representa el estado inicial (“Initial State”), es decir la imagen más antigua del par a analizar y una imagen de NDVI del estado final (“Final State”) que corresponde a la imagen más nueva del par. La imagen del estado inicial es sustraída de la imagen final por una simple diferencia, si el usuario así lo elige, determinando también el número de clases que tendrá el mapa resultante y los umbrales para cada una de ellas. Se eligieron tres clases finales para los mapas, las cuales representan zonas donde el índice cambió positivamente, negativamente y donde no hubo cambio. El umbral de corte para los mapas fue 1 (un) desvío estándar de las imágenes de NDVI, por lo tanto el criterio fue: Cambio (+) > 1 ds, No cambio ≥ -1 ds y ≤ 1 ds, Cambio (-) < -1 ds.

La Figura 2m se muestra los mapas de cambio en el NDVI para Vinalito (2m A, B Y C) y Yuto (2m D, E y F) en los pares de años comparados: 1984-1987, 1987-26/5/1990 y 26/5/1990-1991). En color rojo se destacan los cambios negativos (en donde el NDVI decreció), en verde los cambios positivos (en donde el NDVI aumentó) y en color amarillo en donde no tuvo cambios. En la Figura 2m se destaca en un recuadro, para la serie de Vinalito (A, B y C) la zona del pueblo. En la parte B de la figura, se nota que es en esta zona, en donde más decreció el NDVI.

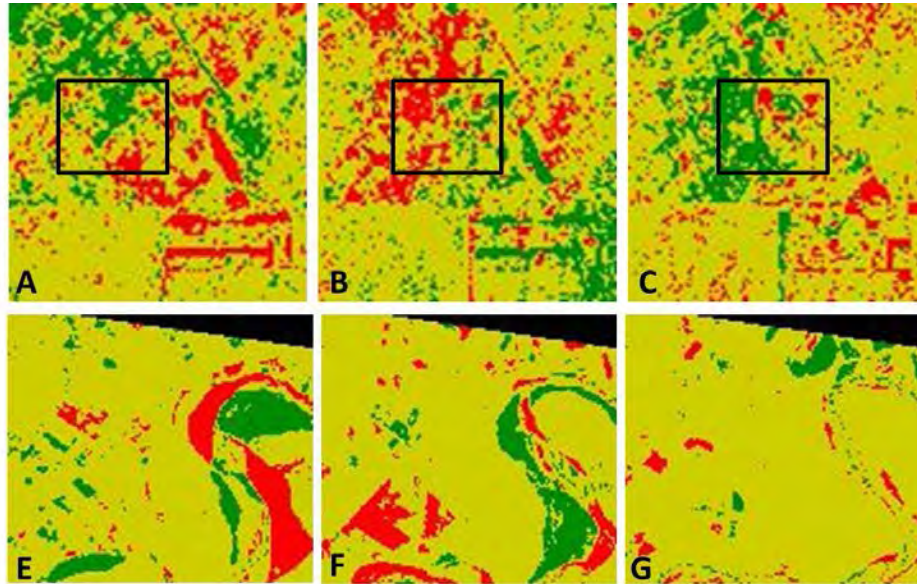


Figura 2m: Series de cambios en el NDVI para Vinalito y Yuto. En A, B y C se muestran los pares comparados para Vinalito (1984-1987, 1987-26/5/1990 y 26/5/1990-1991 respectivamente) y en D, E y F para Yuto. En color rojo se destacan los cambios negativos (en donde el NDVI decreció), en verde los cambios positivos y en color amarillo en donde no tuvo cambios. El recuadro en la serie de Vinalito enmarca la zona del pueblo.

Para cuantificar estos cambios en el NDVI se tomaron los porcentajes de cada una de las tres clases de cambio en los mapas (cambios positivos, sin cambios y cambios negativos), a partir de las estadísticas de las mismas, y se construyeron diagramas de torta con estos datos, los mismos se muestran en la Figura 2n, correspondiendo a los cambios ocurridos en Vinalito y en Yuto.

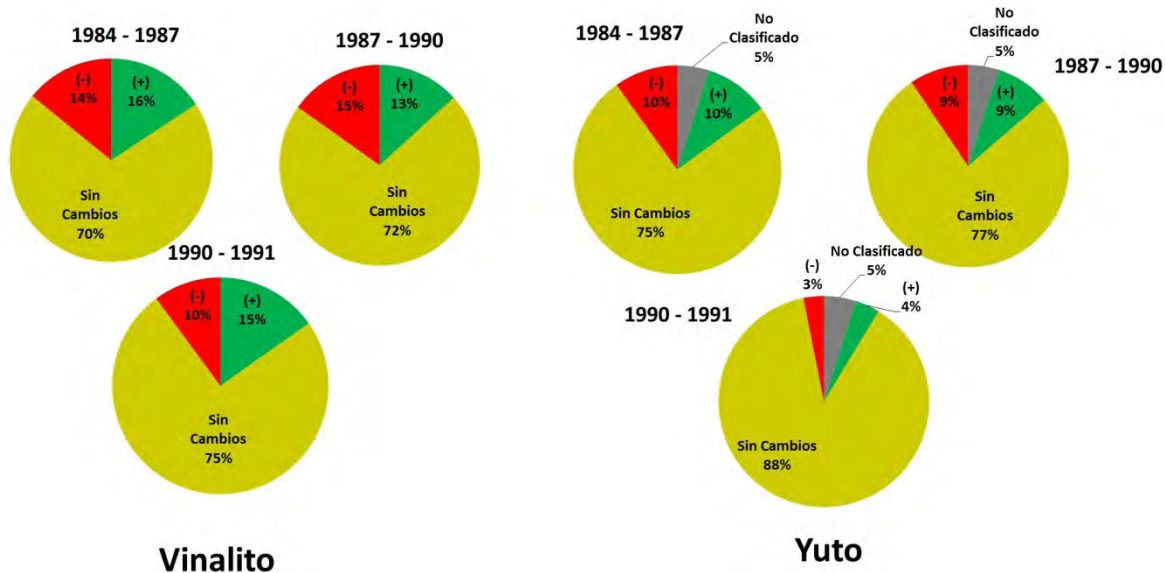


Figura 2n: Diagramas de torta de porcentajes de cambio del NDVI en los tres pares de imágenes comparados para las localidades de Vinalito y Yuto. En las que corresponden a Yuto se observa siempre un 5% no clasificado debido a que este recorte se encuentra el borde superior de la imagen.

De acuerdo a estos resultados, los cambios en NDVI no marcan una diferencia importante en Vinalito en el período 1987 – 1990, año del brote, encontrándose que el cambio en el índice para este período disminuye un 1% más respecto del par 1984 – 1987 y 5% más que el par 1990 – 1991, aunque este pequeño porcentaje podría estar dado por el aumento en el suelo desnudo debido al crecimiento urbano. Tampoco las diferencias en cuanto al aumento en el NDVI son importantes en cantidad en este período para Vinalito. En el caso de Yuto, los cambios entre los pares de imágenes comparados tampoco difieren demasiado entre sí. En ambas localidades, se observa que el mayor porcentaje corresponde a superficie que no presentó cambios en el NDVI, siendo Vinalito la que mayor porcentaje de cambios presentó en todos los períodos comparados.

Capítulo III

Caracterización epidemiológica del brote

Siguiendo el objetivo número 4, en el presente capítulo se aborda la descripción y caracterización del brote de LC ocurrido en Vinalito, tomando como base las tablas con registros epidemiológicos del mismo otorgadas por el Dr. Carlos Ripoll (Director Provincial de Programas Sanitarios, Jujuy). Las tablas cuentan con información sobre el número de casos registrados por departamento, como específicamente el lugar probable de infección, denotando el número de casos desagregado en Vinalito (departamento Santa Bárbara) y en Yuto (departamento Ledesma), desde el año 1986 al 2012. También se obtuvieron de estas tablas, datos más específicos sobre el brote ocurrido en Vinalito en 1990, como son las edades de los enfermos, su ocupación/profesión, la semana epidemiológica en que se registró cada caso, entre otros. Además, se presenta información obtenida personalmente en Vinalito en el año 2013, cuando se realizó un viaje con el propósito de encontrar datos que aporten al desarrollo de esta tesis.

Como ya se mencionó anteriormente, la falta de datos espaciales para los casos notificados significa una limitante a la hora de crear mapas de riesgo de LC o cualquier interpretación que implique a la componente espacial.

Análisis de Casos

Se analizaron las tablas otorgadas por el Dr. Ripoll, y se realizaron diferentes gráficas para interpretar los datos.

Los casos notificados anualmente en Santa Bárbara así como en Vinalito en el período 1986 – 2012 se ilustran en la Figura 3a. Se observa cómo el aporte de casos de Vinalito al

Departamento en el año 1990 da cuenta del brote ocurrido en la localidad, aportando 19 casos de los 22 registrados.

Dado que conocíamos, a partir de las tablas, el número de casos notificados en Yuto para el período 1986 – 1991, se realizó una comparación entre estos y el número de casos en Vinalito para el mismo período. Esta comparación se ilustra en la Figura 3b, mostrando como a excepción del primer año (1986), el número de casos fue siempre mayor en Vinalito, particularmente mayor en 1990, año del brote. En los años 1989 y 1991 no se registraron casos en ambas localidades consideradas. Esta comparación también se realizó acumulando los casos por períodos (Figura 3c) para compararlos con los análisis de detección de cambios de coberturas y NDVI expuestos en el capítulo II.

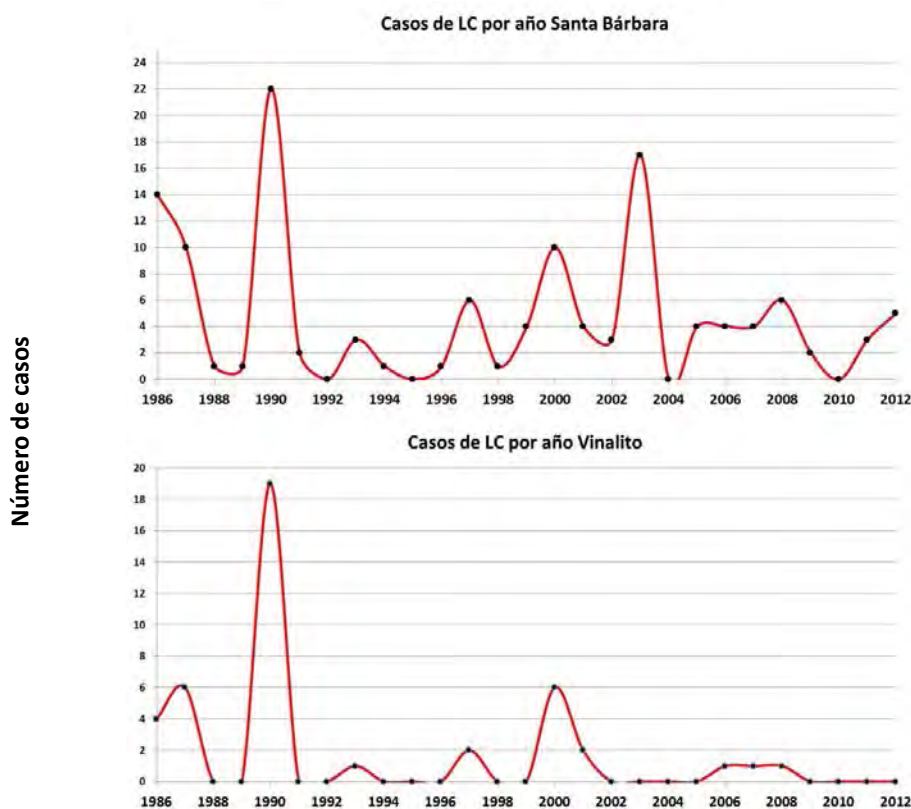


Figura 3a: Casos de LC registrados por año en el período 1986 – 2012 para Santa Bárbara (arriba) y Vinalito (abajo). El aporte de casos de Vinalito al departamento en el año 1990 alcanza los 19 casos.

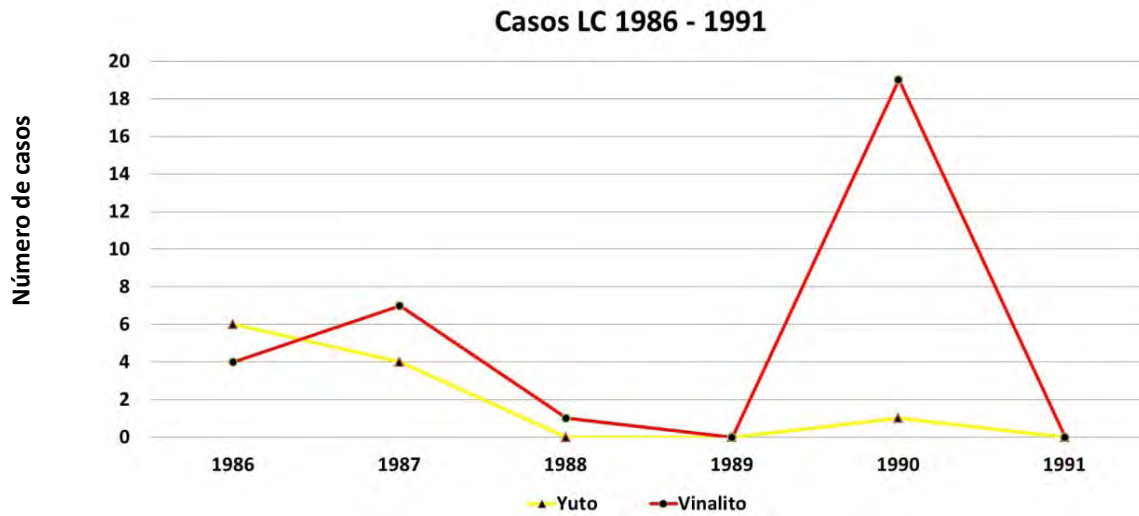


Figura 3b: Comparación de número de casos registrados entre Vinalito y Yuto en el período 1986 – 1991.

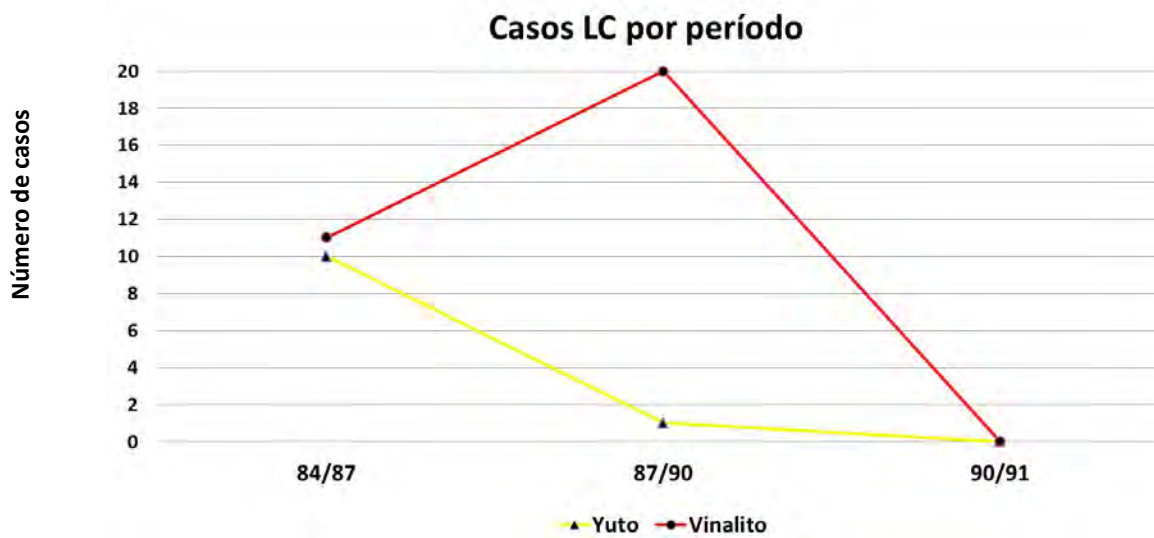


Figura 3c: Número de casos acumulados en Vinalito y Yuto por períodos: 1984 – 1987, 1987 – 1990 y 1990 – 1991.

En el caso de las comparaciones en número de casos por período, encontramos que Vinalito siempre supera a Yuto, a excepción del año 1991 donde no se registraron casos para ambas localidades.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el anterior capítulo, los porcentajes de las diferentes cubiertas del suelo en Vinalito son los que más cambios han experimentado teniendo en cuenta la paulatina instalación de las familias en esta nueva localización geográfica. Es justamente entre los años 1987 y 1990 cuando la superficie cultivada aumenta notablemente en porcentaje, reduciéndose la vegetación natural; también durante 1990 puede verse en las cinco imágenes analizadas para este año, que la superficie de suelo desnudo aumenta indicando un aumento de superficie en el núcleo urbano. Esto y las comparaciones en número de casos por año o período expuestas aquí, aun cuando son descriptivas, sugieren un aumento del contacto efectivo vector – humano en este período, lo cual coincide con la aparición del brote epidémico de LC registrado.

Se analizaron los datos de casos particularmente para Vinalito, observando cual es la distribución de los mismos en las semanas epidemiológicas, según grupo etario, sexo y actividad de las personas infectadas (Figuras 3d, 3e, 3f y 3g). La distribución de los casos en las semanas epidemiológicas muestra que en la semana N° 35 se presentaron 12 casos, siendo la semana con mayor número de casos notificados (Fig. 3d).

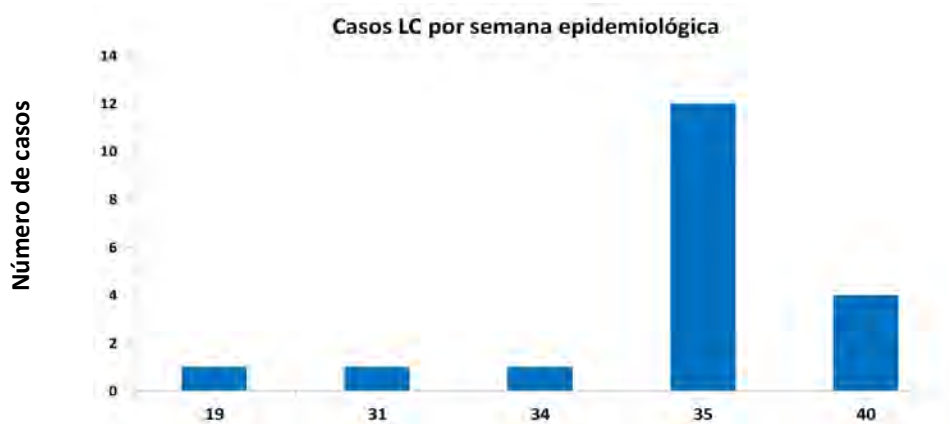


Figura 3d: Cantidad de casos totales de LC en Vinalito por semana epidemiológica.

Según grupo etario, la mayor cantidad de afectados estuvo entre 10 y 19 años (8 casos), seguido por 5 casos en el grupo entre 50 y 59 años, mientras en los demás grupos fueron 3, 2, 1 y 0 casos.



Figura 3e: Distribución de casos de LC para Vinalito según grupo etario.

De acuerdo al porcentaje de hombres (H) y mujeres (M) afectados, se encontró que en su mayoría los casos fueron registrados en hombres (n=14) mientras que sólo 5 mujeres fueron afectadas por LC (Fig. 3f).

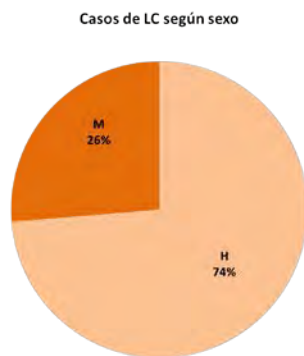


Figura 3f: Porcentaje de casos de LC según sexo. Vinalito

También se observó que de acuerdo a la actividad realizada, los más afectados fueron los jornaleros y estudiantes de primaria (ESTUD. 1) con 7 casos en cada uno de estos dos grupos, luego las amas de casa y pre-escolares presentaron 2 casos y solo uno se registró en el grupo estudiantes secundarios (ESTUD. 2), esto se muestra en la Figura 3g.

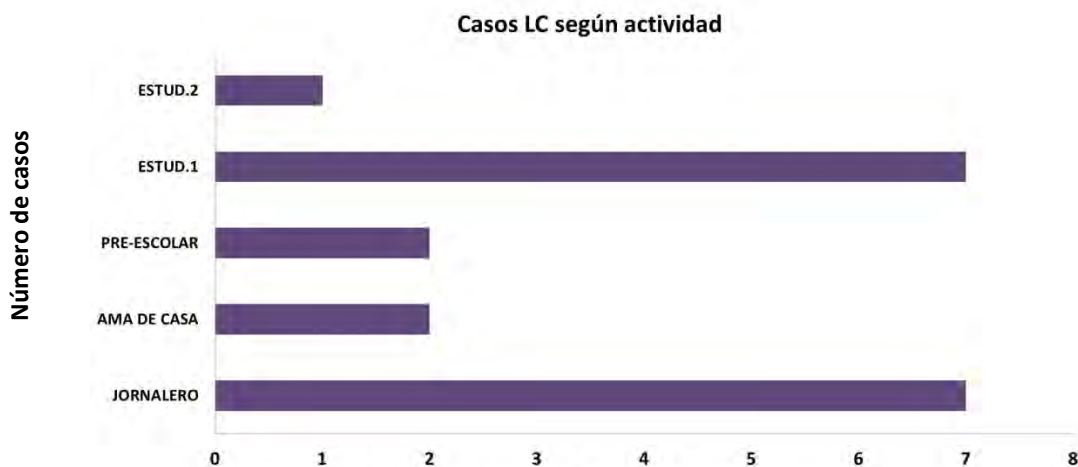


Figura 3g: Se grafican los casos de LC en Vinalito agrupados por actividad de los afectados. Los Jornaleros y Estudiantes primarios son los grupos con mayor número de casos registrados.

Todos estos datos sobre los casos previamente expuestos, son importantes para entender cómo se comportó la transmisión de LC en esta localidad jujeña: a cuántos sucedió y a quiénes, dónde y bajo qué condiciones ambientales. En el caso de Vinalito, el brote afectó en su mayoría a personas de sexo masculino, trabajadores jornaleros y a estudiantes de nivel primario. Las edades que más casos presentaron fueron jóvenes de entre 10 y 19 años, seguidos por aquellas personas entre 50 y 59 años. El número de casos notificados en el brote alcanzó a 19, si bien en la semana epidemiológica n° 35 fue el período donde el sistema de salud notificó la mayoría de los casos, siguiendo el tiempo de evolución de la lesión 12 de los 19 casos se remiten a los meses de otoño, período conocido de mayor transmisión de la enfermedad, dando cuenta así que en ese período se podría haber producido el mayor pico de transmisión.

Datos tomados en Vinalito

En Marzo de 2013, se realizó un viaje a la zona de Vinalito para recopilar información sobre el brote. Aunque no fue posible recopilar información geográfica precisa de los casos notificados, pudimos conocer la historia de las mudanzas del pueblo y reconocer los tipos de vegetación más comunes en los alrededores (lo que ayudaría en el trabajo de clasificaciones).

Se diseñaron una serie de preguntas que fueron respondidas por Pedro Quiroga (Jefe de Agentes Sanitarios) y Nora Maldonado (Agente Sanitario) en el puesto de salud de Vinalito. Las preguntas fueron las siguientes:

- ✓ ¿Cuántas veces se movieron de lugar? ¿Por qué?
- ✓ ¿Dónde se instaló el pueblo al trasladarse?
- ✓ ¿Cuándo se asentaron?
- ✓ ¿Cuándo ocurrió el hecho por el cual se movieron? (deslizamiento)
- ✓ ¿Dónde estaban antes?

De acuerdo a las respuestas que obtuvimos podemos mostrar la siguiente cronología de cómo fueron sucediendo las mudanzas del pueblo, hacia dónde y cuáles fueron las causas:

Primera Mudanza: la primera mudanza Vinalito ocurre en el año 1973 por desborde del Rio San Francisco. El pueblo estaba asentado cerca del río, aproximadamente 3 Km adentro de “Don Palomo” (ver Figura 3h). Luego del desborde se mueven a Loma Martin Cabral, y luego al margen del Arroyo Santa Rita.

Segunda Mudanza: el 4 de marzo de 1984 desborda el Arroyo Santa Rita, causando la casi completa desaparición de Vinalito bajo el lodo (deslizamiento). En este momento la gente empieza a dispersarse por los alrededores (Yuto, El Talar). En julio de 1985, empiezan a instalarse paulatinamente en donde el pueblo de Vinalito se encuentra actualmente

(“Vinalito” en la Figura 3h). En agosto de ese año aun eran pocas personas, de a poco llegan más familias y se va haciendo la limpieza del monte.

Según lo relatado por Pedro Quiroga, el brote de LC ocurre en 1990, y es en este mismo año que ingresa la Cooperativa Agraria de Consumo y Vivienda “Fraile Pintado Limitada” y comenzaron a realizarse desmontes en la zona.

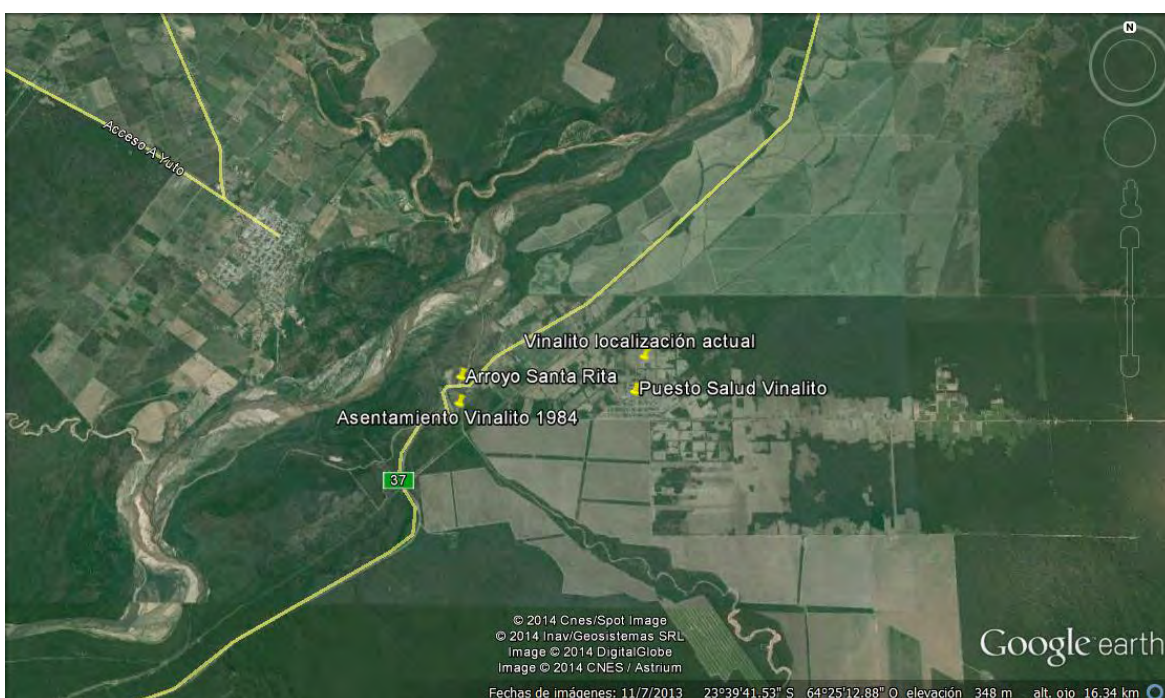


Figura 3h: Imagen tomada de Google Earth, donde se muestran algunos puntos importantes: el sitio donde Vinalito estaba localizado en 1984 (luego del desborde del río en 1973), el actual Vinalito (a partir del año 1985), el Arroyo Santa Rita y el puesto de salud de la localidad.

Se tomaron algunos datos poblacionales de Vinalito en el puesto de salud: a nivel provincial, según el “Sistema Mas Salud Jujuy” en el pueblo hay 241 familias, mientras que a nivel Vinalito la población general es de 1182 habitantes, con 332 casas asignadas (aunque a veces por casa se encuentra viviendo más de una familia). Si bien no nos brindaron información exacta de cuándo fueron tomados estos datos sobre el número de

habitantes, se estima que son posteriores al año 2001 cuando la población contaba con 1.042 habitantes, según datos correspondientes al Censo Nacional de población, vivienda y hogares del año 2001 proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC).

Según Garrahan y Salomón (2010), el principal vector incriminado en la transmisión de LC en Argentina, y específicamente en la región noroeste del país es, *Nyssomyia neivai*. Esta especie se cría en parches de vegetación cerrada y en selvas en galería en las costas de ríos (siguiendo una dinámica metapoblacional: población fuente-sumidero), desde donde puede colonizar ambientes modificados, como son los patios de las viviendas; siendo su abundancia regulada principalmente por la temperatura y la lluvia, con dos o tres picos anuales (primavera-verano, verano-otoño). Estas dos características generan aumentos explosivos de vectores en un sitio y un momento determinados, que al coincidir con actividades humanas que incrementan la exposición a ellos, provocan la aparición de epidemias.

De acuerdo a la información descriptiva que se mostró en este capítulo, complementada con el análisis de cambios ambientales ocurridos en la zona de estudio podemos apoyar lo dicho por Garrahan y Salomón (2010): donde el ingreso paulatino de la población a la zona del actual Vinalito, en donde se registró el brote epidémico de LC, derivó en una serie de cambios ambientales por causa humana, que contribuyeron al aumento del riesgo de contacto efectivo y así contraer LC en la población de Vinalito. De esta manera, los cambios en el uso de la tierra (que incluyen tanto la deforestación ocurrida, como el movimiento de la población) han logrado de algún modo la adaptación de vectores silvestres a un medio doméstico-peridoméstico.

Capítulo IV

Conclusiones y Discusión

En el presente estudio fue posible evaluar lo sucedido en el área de Vinalito, en la Provincia argentina de Jujuy, que fue afectada por un brote de LC en 1990, y el área de la vecina localidad de Yuto mediante una serie temporal de imágenes Landsat 5TM. Este análisis temporal sobre los cambios ambientales ocurridos en Vinalito entre los años 1984 y 1991, constituye un documento de base valioso para el conocimiento sobre cómo ha sido la evolución de los cambios de usos de la tierra ocurridos desde la re-localización de la población, la cual podría extenderse hasta la actualidad. Además es también una fuente de información histórica, que sirve para entender algunas de las causas que condujeron al brote de LC y evitar en el futuro un episodio similar en esta localidad o cualquiera que presente las condiciones que lo propician.

Esta tesis representa el primer trabajo que toma como base analítica el uso de imágenes satelitales para entender los cambios naturales y antrópicos que condujeron a la aparición del brote epidémico de LC en Vinalito. Anteriormente, Garrahan y Salomón (2010) proponen que el traslado del pueblo es la causa principal de la aparición del brote, sin llevar a cabo un análisis cuantitativo.

La observación y cuantificación de los cambios a través de la serie temporal, permitió reconocer los mismos y observar cómo los suelos fueron gradualmente siendo ocupados por áreas urbanas y agrícolas marcando la instalación del pueblo en esta nueva área, propiciando el aumento efectivo del contacto del vector con los humanos. El análisis de cambios en el NDVI no mostró grandes diferencias entre los períodos comparados para Vinalito, sin embargo los pocos cambios del índice en la comparación de las imágenes de 1987 – 1990, podrían deberse a la instalación del pueblo en este sitio. Estos escasos cambios observados en el NDVI podrían deberse a la escala, es decir que la evaluación en

la escala que se utiliza en este trabajo (mesoescala) quizás no es representativa, pero si se observara esto en una escala de mayor detalle (microescala) podrían verse mejor reflejados estos cambios (se conoce que el extraer 1 o 2 árboles de gran porte representa un cambio importante en la abundancia del vector in situ).

De acuerdo con de los resultados obtenidos y coincidiendo con lo propuesto por muchos autores citados en esta tesis que han estudiado el comportamiento de la LC, las intervenciones antrópicas ocurridas en Vinalito han sido acompañadas por cambios ambientales que han modificado el patrón de transmisión de la enfermedad y consecuentemente han conducido al brote de la misma, tal como lo citan Patz *et al.*, 2000 y Foley *et al.*, 2005 para otros casos estudiados.

La deforestación de la vegetación natural es uno de los principales factores que propician la aparición de brotes epidémicos, tanto por aumentar el contacto efectivo vector-humano como por alterar la migración de los vectores y reservorios, como lo expresan Salomón *et al.* en el año 2006. La aparición de los asentamientos humanos en sitios que fueron deforestados, es un factor importante que puede transformar la infección parasitaria en una epidemia, como sucedió en nuestro caso de estudio. Los parches de vegetación natural actúan como una fuente de vectores y los deforestadores están expuestos al riesgo de contraer LC por trabajar en el ambiente en el que habitan los vectores y reservorios silvestres como lo indica el alto número de jornaleros infectados entre los casos notificados, pero también puede enfermarse la población que se instala con animales domésticos inmediatamente después de la deforestación, o en casas próximas al borde del monte o en el caso de los estudiantes primarios donde la “escuelita” estaba ubicada cercana al Arroyo Santa Rita, coincidiendo con el resto de los casos notificados en el brote (niños, jóvenes y mujeres que podrían haber habitado en viviendas cercanas a los bordes desmontados), concordando con lo expuesto por Garrahan y Salomón (2010) acerca de lo que pudo haber ocurrido en Vinalito. Entonces, el número de casos notificados en hombres de edad adulta y la cantidad de casos en otros grupos etarios y mujeres, indica que el ciclo silvestre con transmisión silvestre y peridoméstica de LC persistió en el brote de Vinalito, como se observó anteriormente para

otros brotes de la enfermedad en Argentina (Sosa Estani *et al.*, 2001; Salomón *et al.*, 2001).

Sin importar entonces, la escala de las modificaciones ocasionadas, sostenemos la hipótesis de esta tesis, basada en el trabajo de Quintana *et al.*, 2010, en donde se propone y afirma que el aumento del riesgo a contraer LC está asociado a la práctica de actividades como la deforestación de la vegetación que permite el crecimiento de ciudades.

Si bien el traslado del pueblo era inevitable, es necesario reconocer las consecuencias de la deforestación y las subsiguientes modificaciones del paisaje que implican un nuevo asentamiento en lugares en donde las condiciones ambientales propician la aparición de enfermedades como la leishmaniasis, en regiones donde las condiciones climáticas son óptimas para el hábitat y desarrollo del vector, como es el caso de Vinalito. Las intervenciones antrópicas deben incluir la vigilancia de la transmisión de la LC, pudiendo utilizar la abundancia/distribución del vector como un indicador de riesgo (Salomón *et al.*, 2008).

Cabe aclarar aquí que según las fuentes consultadas, Vinalito se habría mudado por última vez en el año 1994 (Failde de Calvo *et al.*, 2010) Sin embargo según lo registrado en la charla en Vinalito con Pedro Quiroga, el último lugar al que se traslada el pueblo es en donde actualmente está emplazado, y donde se encuentran desde el año 1984.

La falta de información espacializada respecto al brote, limitó mucho el abordaje del estudio desde el punto de vista espacial: no fue posible construir mapas de riesgo de LC para la zona, una herramienta de gran importancia para poder prevenir futuros episodios epidémicos. Este tipo de enfoque es de mucha importancia en prevención de emergencias, ya que las técnicas de GIS y teledetección tienen un alto potencial en este tipo de estudios, al permitir combinar información ambiental y geográfica para elaborar herramientas de diagnóstico y prevención, tanto espacial como temporalmente.

El estudio de la LC en Argentina en al menos los últimos 20 años, muestra una tendencia al incremento de casos (Sosa Estani *et al.*, 2001; Salomón *et al.*, 2001a, b, c, 2006a, 2008a, b;

Sosa Estani y Salomón, 2002; Quintana *et al.*, 2010). La lucha contra los vectores con insecticidas ha mostrado resultados en el corto plazo, pero resultan de poca efectividad en tiempos prolongados. El tratamiento para la LC se efectúa sobre las personas que ya enfermaron, y la única forma de prevención se basa en medidas de protección física de las personas expuestas al riesgo de picadas de los insectos transmisores, mientras que las vacunas aún se encuentran en una etapa experimental (Garrahan y Salomón, 2010).

Ante un panorama en donde las nuevas investigaciones probablemente brinden un mayor número de herramientas efectivas para hacer frente a estas enfermedades, es necesario tener en cuenta que se podrá tener más éxito en alcanzar este objetivo entendiendo que tanto las conductas humanas individuales como colectivas inciden en el futuro de este problema.

Sugerencias

Si bien lo ideal hubiese sido contar con imágenes del mismo momento del año para todos los años analizados, nos encontramos con problemas de coberturas nubosas o falta de datos disponibles para esto. Se recomienda para un futuro sumar el uso de imágenes SAR (Radar de Apertura Sintética) ya que permiten la observación de la tierra sin importar la cobertura de nubes.

Dada la escala espacial a la que fue posible trabajar en esta tesis, se identificaron aquellos cambios más importantes a nivel de coberturas dándonos una aproximación de cómo habrían sucedido. Sin embargo sería bueno abordar el análisis desde una escala espacial más detallada, lo que permitiría obtener más información a nivel local, ya que obtener resultados a diferentes escalas podría arrojar diversas perspectivas sobre los aspectos estudiados. En la actualidad existen muchos tipos de imágenes satelitales de alta resolución para cumplir con esos objetivos.

La falta de datos espaciales indica la necesidad de que los distintos sistemas de salud a cargo de registrar y notificar los casos en un brote, o de relevar emergencias en salud pública, logren captar la mayor cantidad de casos con su respectivo dato geográfico.

También, contar con datos de abundancia de flebótomos, y datos meteorológicos en regiones endémicas de LC en Argentina durante largos períodos de tiempo, será de gran utilidad para inferir las relaciones que puedan existir entre todas estas variables y poder establecer fehacientemente una vinculación funcional de la dinámica del vector con los cambios de uso y cobertura y aparición de brotes; por lo que sería interesante que estas tareas se lleven a cabo como parte de un sistema de vigilancia epidemiológica. Para esta tesis no fue posible encontrar tales datos, siendo de gran importancia conocer los registros históricos de precipitación y temperatura en el estudio de la leishmaniasis.

En lo posible, desarrollar modelos de base con datos espacializados de casos, datos meteorológicos y de abundancia de vectores, para generar sistemas de alerta temprana, que incluyan los cambios de uso de la tierra y de las coberturas naturales, para poder predecir los riesgos de transmisión de LC en la región endémica de Argentina.

Debe llevarse a cabo la vigilancia de la transmisión de LC en sitios intervenidos por el hombre, como también deben garantizarse la vigilancia de casos, el diagnóstico temprano con control de calidad y el tratamiento oportuno estandarizado al menos en todo el territorio endémico de LC.

Bibliografía citada

Ashford RW (2007). Disease as a stabilizing factor in the protection of landscape: the Leishmaniasis models. *EcoHealth* 4: 99-103

Beck LR, Lobitz BM, Wood BL (2000). Remote Sensing and Human Health: New Sensors and New Opportunities. *Emerging Infectious Diseases* 6 (3): 217-227

Brizuela, Armando B, César A. Aguirre, Inés Velasco (2007). Aplicación de métodos de corrección atmosférica de datos Landsat 5 para análisis multitemporal. Revista SELPER, ISSN 0717-2915 Vol 24 Nº 1: 20-27

Cabrera ÁL (1976) Regiones fitogeográficas argentinas. En Kugler WF (Ed.) *Enciclopedia argentina de agricultura y jardinería*. Tomo 2. 2a edición. Acme. Buenos Aires. Argentina. Fascículo 1. pp. 1-85

Chander G, Markham BL, Helder DL (2009). "Summary of Current Radiometric Calibration Coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI Sensors." *Remote Sensing of Environment*, 113, 893–903

Chuvieco E (2010) *Teledetección Ambiental*, 3ª edición revisada, Barcelona, Editorial Ariel 2010 (3ª edición renovada)

Dedet JP (1999). Leishmanioses tégumentaires. In *Les Leishmanioses*, Ellipses Univerisités Francophones, p. 173-175

Failde de Calvo, Fernández y Zelarayán (2010). Un Ejercicio de Ordenamiento Territorial Participativo en la Cuenca del Arroyo Sta. Rita, Jujuy. INTA EEA Salta

Foley, J.A., R. DeFries, G.P. Asner, C. Barford, G. Bonan, S.R. Carpenter, F.S. Chapin, M.T. Coe, G.C. Daily, H.K. Gibbs, J.H. Helkowski, T. Holloway, E.A. Howard, C.J. Kucharik, C. Monfreda JA, Patz IC, Prentice N, Ramankutty, and PK Snyder (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309: 570 – 574

Garrahan P, Salomón OD. Leishmaniasis (2010). Enfermedades antiguas de reciente aparición comprobada en la Argentina. *Ciencia Hoy* 19 (114), diciembre 2009-enero 2010: 32-37

Goslee Sarah C (2011). Analyzing Remote Sensing Data in R: The landsat Package. *Journal of Statistical Software*, 43(4), 1-25

Heymann DL & Rodier GR & WHO Operational support Team to the Global Outbreak Alert and Response Network (2001) Hot spots in a wired world: WHO surveillance of emerging and re-emerging infectious diseases. *The Lancet Infectious Diseases* 1, 345–353

Lainson R (1989). Demographic changes and their influence on the epidemiology of the American leishmaniasis, p. 85-106. In MW Service, *Demography and Vector-Borne Diseases*. CRC Press, Boca Raton, FL

Lang R, Shao G, Pijanowski BC, Farnsworth R.L (2008). Optimizing unsupervised classifications of remotely sensed imagery with a data - assisted labeling approach. *Computers and Geosciences*, v.34, n.12, p.1877-1885

Macedo-Cruz A, Pajares-Msrtinsanz G, Santos-Penas M (2010). Clasificación no supervisada con imágenes a color de cobertura terrestre. *Agrociencia*, v.44, n.6, p.711-722

Machault V, Vignolles C, Borchi F, *et al.* (2011). The use of remotely sensed environmental data in the study of malaria. *Geospatial Health* 5(2), 2011, pp. 151-168

Mantero P, Moser G, Serpico SB (2005). Partially supervised classification of remote sensing images through SVM-based probability density estimation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 43 (3), 559–570

Mott KE, Desjeux P, Moncayo A, Ranque P, de Raadt P (1990). Parasitic diseases and urban development. *Bull World Health Organ* 68: 691-698

Mountrakis G, Im J, Ogole C (2011). Support vector machines in remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 66, pp. 247-259

Paterson, GC & Shannon, RC (1926) Sobre una nueva especie del género *Phlebotomus* encontrada en las provincias del norte de la República. *Bol. Inst. Clin. quir. (B. Aires)* 2: 298-309

Patz JA, Graczyk TK, Geller N, Vittor AY (2000). Effects of environmental change on emerging parasitic diseases. *Int J Parasitol* 30: 1395–1405

Quintana H & Etcheverry (1917). Leishmaniosis Americana en la Provincia de Jujuy. *Cong. Nac. Medicina (Buenos Aires)* 1(2):847-860

Quintana MG, Salomón OD, Lizarralde de Grosso MS (2010). Distribution of Phlebotominae in primary forest-crop interface, Salta, Argentina. *J Med Entomol*, 47 (6): 1003-1010

Ripoll C (2012). Informe de Leishmaniasis en la Provincia de Jujuy. Ministerio de Salud. Dirección Provincial de Programas Sanitarios

Salomón OD, Sosa Estani S, Canini L, Córdoba Lanús E (2001a). Leishmaniosis tegumentaria en un área con niveles epidémicos de transmisión, Salta, Argentina, 1998 *Medicina (Buenos Aires)*; 61: 284-290. <http://www.medicinabuenosaires.com/vol61-01/3/leishmaniosis.htm>

Salomón OD, Sosa Estani S, Monzani AS, Studer C (2001b). Brote epidémico de leishmaniosis tegumentaria en Puerto Esperanza, provincia de Misiones, 1998. *Medicina (Buenos Aires)*; 61: 385-390. <http://www.medicinabuenosaires.com/vol61-01/4/leishmaniosistegumentaria.htm>

Salomón OD, Zaidenberg M, Burgos R, Heredia VI, Caropresi SL (2001c). American Cutaneous Leishmaniasis outbreak, Tartagal city, province of Salta, Argentina, 1993. *Rev. Inst. Med. Trop. São Paulo*; 43: 105-108. <http://www.scielo.br/pdf/rimtsp/v43n2/a10v43n2.pdf>

Salomón OD (2002). Leishmaniosis: vectores y brotes epidémicos en Argentina. In: Salomón OD (ed) *Actualizaciones en Artropodología Sanitaria Argentina. Fundación Mundo Sano*, Buenos Aires, p. 185-196

Salomón OD, Rossi GC, Cousiño B, Spinelli GR, Rojas de Arias A, López del Puerto DG, Ortiz AJ (2003). Phlebotominae Sand Flies in Paraguay. Abundance Distribution in the Southeastern Region. *Mem Inst Oswaldo Cruz*; 98: 185-190. <http://www.scielo.br/pdf/mioc/v98n2/v98n2a04.pdf>

Salomón OD, Orellano PW, Lamfri M, Scavuzzo M, Dri L, Farace MI, Ozuna Quintana D (2006a). Phlebotominae spatial distribution associated with a focus of tegumentary leishmaniasis in Las Lomitas, Formosa, Argentina, 2002. *Mem Inst Oswaldo Cruz*; 101(3): 295-299. <http://www.scielo.br/pdf/mioc/v101n3/v101n3a13.pdf>

Salomón OD, Orellano PW, Quintana MG, Pérez S, Sosa Estani S, Acardi S, Lamfri M (2006b). Transmisión de la leishmaniasis tegumentaria en Argentina. *Medicina (B Aires)*; 66: 211-219

Salomón OD, Quintana MG, Rosa JR (2008). Ecoepidemiología de la leishmaniasis cutánea en Argentina. *Sociedad Iberoamericana de Información Científica (SIIC), Sección Expertos Invitados de Iberoamérica. SaludiCiencia*, 16: 514-520. ISSN1667-8962

Salomón OD, Quintana MG, Rosa JR (2008a). Eco-epidemiología de leishmaniasis cutánea en Argentina. *Sociedad Iberoamericana de Información Científica (SIICSALUD)*. ISSN siicsalud: 1667-8982. *Salud (i) Ciencia* Vol. 16 (5): 514-520

Salomón OD, Quintana MG, Zaidenberg M (2008b). Urban distribution of Phlebotominae in a cutaneous leishmaniasis focus, Argentina. *Mem Inst Oswaldo Cruz*, 103: 282-287. <http://memorias.ioc.fiocruz.br/270.pdf>

Salomón OD, Quintana MG, Mastrángelo AV, Fernández MS (2012). Leishmaniasis and climate change: Study Case – Argentina Journal of Tropical Medicine Article ID 601242, doi:10.1155/2012/601242

Sosa Estani S, Salomón OD (2002). Aspectos clínicos, epidemiológicos y entomológicos de la transmisión de la leishmaniosis en la República Argentina. Sociedad Iberoamericana de Información Científica (SIIC), Sección Expertos Invitados, <http://www.siicsalud.com/dato/buscador/02212015.htm>

Sosa Estani S, Segura EL, Gómez A, Salomón OD, Peralta M, Coutada V, Medina Ruiz L (2001). Leishmaniose cutânea no Norte da Argentina. Fatores de risco identificados num estudo caso-coorte em três municípios de Salta. Rev. Soc. Bras. Med. Trop.; 34: 511-517. <http://www.scielo.br/pdf/rsbmt/v34n6/7437.pdf>

Vapnik V (1979). Estimation of Dependences Based on Empirical Data. Nauka, Moscow, pp. 5165–5184, 27 (in Russian) (English translation: Springer Verlag, New York, 1982)

Walsh JF, Molyneux DH, Birley MH (1993). Deforestation: effects on vector-borne disease. *Parasitology* 106 (Suppl.1): S55-75

Young DG, Duncan MA (1994). Guide to the identification and geographic distribution of *Lutzomyia* sand flies in Mexico, the West Indies, Central and South America (Diptera: Psychodidae). *Memories of the American Entomologic Institute* 54: 1- 881

Anexo

Se presentan aquí las matrices de confusión de las 10 imágenes Landsat 5TM clasificadas

1984

Class Confusion Matrix

Confusion Matrix: C:\Users\Usuario\Documents\Elvira\searte\Tesis\clasificaciones\SVN\sva1984

Overall Accuracy = (827/931) 99.5187%
Kappa Coefficient = 0.9938

| Class | Ground Truth (Percent) | | | | |
|--------------|------------------------|---------|-------------|---------|---------|
| | sdval | aguaval | cultivosval | veg1val | veg2val |
| Unclassified | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| sd | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| agua | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| cultivos | 0.00 | 0.00 | 99.03 | 0.00 | 0.00 |
| veg1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 99.05 | 0.00 |
| veg2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.97 | 100.00 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| Class | Ground Truth (Percent) | | | | | |
|--------------|------------------------|----|------|----------|------|------|
| | Total | sd | agua | cultivos | veg1 | veg2 |
| Unclassified | 0.00 | | | | | |
| sd | 24.67 | | | | | |
| agua | 8.42 | | | | | |
| cultivos | 24.67 | | | | | |
| veg1 | 25.03 | | | | | |
| veg2 | 17.21 | | | | | |
| Total | 100.00 | | | | | |

| Class | Commission (Percent) | | Omission (Percent) | |
|----------|----------------------|------|--------------------|-------|
| sd | 0.00 | 0.00 | 0.205 | 0.205 |
| agua | 0.00 | 0.00 | 0.70 | 0.70 |
| cultivos | 0.00 | 0.97 | 0.205 | 0.205 |
| veg1 | 0.00 | 0.95 | 0.208 | 0.210 |
| veg2 | 2.90 | 0.00 | 4.143 | 0.139 |

| Class | Prod Acc (Percent) | | User Acc (Percent) | |
|----------|--------------------|--------|--------------------|---------|
| sd | 100.00 | 100.00 | 205/205 | 205/205 |
| agua | 100.00 | 100.00 | 70/70 | 70/70 |
| cultivos | 99.03 | 100.00 | 205/207 | 205/205 |
| veg1 | 99.05 | 100.00 | 208/210 | 208/208 |
| veg2 | 100.00 | 97.20 | 139/139 | 139/143 |

1987

Class Confusion Matrix

Confusion Matrix: C:\Users\Usuario\Documents\Elvira\searte\Tesis\clasificaciones\SVN\sva1987

Overall Accuracy = (574/729) 78.7380%
Kappa Coefficient = 0.7232

| Class | Ground Truth (Percent) | | | | |
|--------------|------------------------|---------|-------------|---------|---------|
| | sdval | aguaval | cultivosval | veg1val | veg2val |
| Unclassified | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| sd | 97.69 | 31.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| agua | 0.00 | 88.57 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| cultivos | 2.31 | 0.00 | 99.53 | 0.00 | 3.60 |
| veg1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 47.14 | 17.27 |
| veg2 | 0.00 | 0.00 | 0.47 | 52.86 | 79.14 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| Class | Ground Truth (Percent) | | | | | |
|--------------|------------------------|----|------|----------|------|------|
| | Total | sd | agua | cultivos | veg1 | veg2 |
| Unclassified | 0.00 | | | | | |
| sd | 18.99 | | | | | |
| agua | 3.29 | | | | | |
| cultivos | 30.45 | | | | | |
| veg1 | 18.87 | | | | | |
| veg2 | 30.45 | | | | | |
| Total | 100.00 | | | | | |

| Class | Commission (Percent) | | Omission (Percent) | |
|----------|----------------------|-------|--------------------|---------|
| sd | 0.00 | 0.00 | 2.31 | 3/130 |
| agua | 0.00 | 31.43 | 0.24 | 11/35 |
| cultivos | 2.50 | 0.47 | 8/222 | 11/215 |
| veg1 | 19.51 | 52.86 | 24/123 | 111/210 |
| veg2 | 50.45 | 20.88 | 112/222 | 29/139 |

| Class | Prod Acc (Percent) | | User Acc (Percent) | |
|----------|--------------------|--------|--------------------|---------|
| sd | 97.69 | 52.03 | 127/130 | 127/138 |
| agua | 88.57 | 100.00 | 24/25 | 24/24 |
| cultivos | 99.53 | 96.40 | 214/215 | 214/222 |
| veg1 | 47.14 | 80.49 | 99/210 | 99/123 |
| veg2 | 79.14 | 49.55 | 110/139 | 110/222 |

26/5/1990

Class Confusion Matrix

Confusion Matrix: C:\Users\Usuario\Documents\Elvira\searte\Tesis\clasificaciones\SVN\sva26_5_1990

Overall Accuracy = (375/491) 76.3747%
Kappa Coefficient = 0.6892

| Class | Ground Truth (Percent) | | | | |
|--------------|------------------------|---------|-------------|---------|---------|
| | sdval | aguaval | cultivosval | veg1val | veg2val |
| Unclassified | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| sd | 91.00 | 0.00 | 19.35 | 0.00 | 0.00 |
| agua | 9.00 | 98.41 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| cultivos | 0.00 | 1.59 | 48.39 | 0.00 | 0.00 |
| veg1 | 0.00 | 0.00 | 29.03 | 65.19 | 25.18 |
| veg2 | 0.00 | 0.00 | 3.23 | 34.81 | 74.82 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| Class | Ground Truth (Percent) | | | | | |
|--------------|------------------------|----|------|----------|------|------|
| | Total | sd | agua | cultivos | veg1 | veg2 |
| Unclassified | 0.00 | | | | | |
| sd | 19.76 | | | | | |
| agua | 14.46 | | | | | |
| cultivos | 3.26 | | | | | |
| veg1 | 29.94 | | | | | |
| veg2 | 32.59 | | | | | |
| Total | 100.00 | | | | | |

| Class | Commission (Percent) | | Omission (Percent) | |
|----------|----------------------|-------|--------------------|--------|
| sd | 6.19 | 9.00 | 6/97 | 9/100 |
| agua | 12.68 | 1.59 | 9/71 | 1/63 |
| cultivos | 16.25 | 51.61 | 16/31 | 15/31 |
| veg1 | 29.93 | 34.81 | 44/147 | 55/158 |
| veg2 | 35.00 | 25.18 | 56/160 | 35/139 |

| Class | Prod Acc (Percent) | | User Acc (Percent) | |
|----------|--------------------|-------|--------------------|---------|
| sd | 91.00 | 93.81 | 91/100 | 91/97 |
| agua | 98.41 | 87.32 | 82/63 | 82/71 |
| cultivos | 48.39 | 93.75 | 15/31 | 15/16 |
| veg1 | 65.19 | 70.07 | 103/158 | 103/147 |
| veg2 | 74.82 | 85.00 | 104/139 | 104/100 |

27/6/1990

Class Confusion Matrix

Confusion Matrix: C:\Users\Usuario\Documents\Elvira\searte\Tesis\clasificaciones\SVN\sva27_6_1990

Overall Accuracy = (450/579) 77.7202%
Kappa Coefficient = 0.7131

| Class | Ground Truth (Percent) | | | | |
|--------------|------------------------|---------|-------------|---------|---------|
| | sdval | aguaval | cultivosval | veg1val | veg2val |
| Unclassified | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| sd | 89.62 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| agua | 9.43 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| cultivos | 0.00 | 0.00 | 100.00 | 0.63 | 1.44 |
| veg1 | 47.14 | 0.00 | 0.00 | 43.04 | 18.71 |
| veg2 | 0.94 | 0.00 | 0.00 | 56.33 | 79.86 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| Class | Ground Truth (Percent) | | | | | |
|--------------|------------------------|----|------|----------|------|------|
| | Total | sd | agua | cultivos | veg1 | veg2 |
| Unclassified | 0.00 | | | | | |
| sd | 15.41 | | | | | |
| agua | 7.60 | | | | | |
| cultivos | 25.04 | | | | | |
| veg1 | 16.23 | | | | | |
| veg2 | 34.72 | | | | | |
| Total | 100.00 | | | | | |

| Class | Commission (Percent) | | Omission (Percent) | |
|----------|----------------------|-------|--------------------|--------|
| sd | 0.00 | 10.38 | 0/95 | 11/106 |
| agua | 22.73 | 0.00 | 10/44 | 0/34 |
| cultivos | 2.07 | 0.00 | 3/145 | 0/142 |
| veg1 | 16.23 | 56.98 | 26/94 | 50/158 |
| veg2 | 44.78 | 20.14 | 90/201 | 28/139 |

| Class | Prod Acc (Percent) | | User Acc (Percent) | |
|----------|--------------------|--------|--------------------|---------|
| sd | 89.62 | 100.00 | 95/106 | 95/95 |
| agua | 100.00 | 77.27 | 34/34 | 34/44 |
| cultivos | 100.00 | 97.93 | 142/142 | 142/145 |
| veg1 | 43.04 | 72.34 | 68/94 | 68/94 |
| veg2 | 79.86 | 35.22 | 111/139 | 111/201 |

30/8/1990

Class Confusion Matrix

Confusion Matrix: C:\Users\Usuario\Documents\Elvira\searte\Tesis\clasificaciones\SVN\swa10_8_1990

Overall Accuracy = (524/598) 87.4751%

Kappa Coefficient = 0.9399

| Class | sdval | aguaval | cultivosval | veg1val | veg2val |
|--------------|--------|---------|-------------|---------|---------|
| Unclassified | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| sd | 99.29 | 1.85 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| agua | 0.77 | 98.25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| cultivos | 0.00 | 0.00 | 94.07 | 15.53 | 1.44 |
| veg1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 83.54 | 27.34 |
| veg2 | 0.00 | 0.00 | 5.93 | 13.92 | 71.22 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| Class | sdval | aguaval | cultivosval | veg1val | veg2val |
|--------------|--------|---------|-------------|---------|---------|
| Unclassified | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| sd | 21.70 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| agua | 1.53 | 19.67 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| cultivos | 15.53 | 0.00 | 94.07 | 0.00 | 0.00 |
| veg1 | 28.38 | 0.00 | 0.00 | 83.54 | 0.00 |
| veg2 | 23.37 | 0.00 | 0.00 | 13.92 | 71.22 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| Class | Commission (Percent) | Omission (Percent) | Commission (Pixels) | Omission (Pixels) |
|----------|----------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| sd | 0.77 | 0.77 | 1/130 | 1/130 |
| agua | 1.00 | 1.00 | 1/54 | 1/54 |
| cultivos | 1.3 | 6.93 | 6/117 | 7/118 |
| veg1 | 22.35 | 16.46 | 28/170 | 26/158 |
| veg2 | 23.66 | 28.78 | 29/128 | 40/138 |

| Class | Prod. Acc. (Percent) | User Acc. (Percent) | Prod. Acc. (Pixels) | User Acc. (Pixels) |
|----------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| sd | 99.29 | 99.23 | 129/130 | 129/130 |
| agua | 99.15 | 99.45 | 53/54 | 53/54 |
| cultivos | 94.07 | 94.87 | 111/118 | 111/117 |
| veg1 | 83.54 | 77.65 | 132/158 | 122/170 |
| veg2 | 71.22 | 77.54 | 99/139 | 99/128 |

15/9/1990

Class Confusion Matrix

Confusion Matrix: C:\Users\Usuario\Documents\Elvira\searte\Tesis\clasificaciones\SVN\swa15_9_1990

Overall Accuracy = (570/598) 96.7742%

Kappa Coefficient = 0.9688

| Class | sdval | aguaval | cultivosval | veg1val | veg2val |
|--------------|--------|---------|-------------|---------|---------|
| Unclassified | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| sd | 97.46 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| agua | 0.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| cultivos | 0.00 | 0.00 | 95.76 | 0.63 | 1.44 |
| veg1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 94.94 | 0.72 |
| veg2 | 0.00 | 0.00 | 4.24 | 4.43 | 97.84 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| Class | sdval | aguaval | cultivosval | veg1val | veg2val |
|--------------|--------|---------|-------------|---------|---------|
| Unclassified | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| sd | 19.52 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| agua | 10.00 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| cultivos | 19.67 | 0.00 | 95.76 | 0.63 | 1.44 |
| veg1 | 28.44 | 0.00 | 0.00 | 94.94 | 0.72 |
| veg2 | 25.13 | 0.00 | 0.00 | 4.43 | 97.84 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| Class | Commission (Percent) | Omission (Percent) | Commission (Pixels) | Omission (Pixels) |
|----------|----------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| sd | 0.00 | 0.00 | 0/115 | 0/115 |
| agua | 0.00 | 0.00 | 0/59 | 0/59 |
| cultivos | 1.3 | 4.24 | 3/115 | 5/118 |
| veg1 | 0.64 | 5.06 | 1/151 | 8/158 |
| veg2 | 4.24 | 2.16 | 12/148 | 3/133 |

| Class | Prod. Acc. (Percent) | User Acc. (Percent) | Prod. Acc. (Pixels) | User Acc. (Pixels) |
|----------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| sd | 97.46 | 100.00 | 115/118 | 115/115 |
| agua | 100.00 | 94.92 | 56/59 | 56/59 |
| cultivos | 95.76 | 97.41 | 113/118 | 113/116 |
| veg1 | 94.94 | 99.34 | 150/158 | 150/151 |
| veg2 | 97.84 | 91.89 | 138/139 | 136/148 |

1/10/1990

MatrizConfusion_1_10_1990 Bloc de notas

Archivo: Edición Formato: Ver Ayuda

1/10/1990

Confusion Matrix: /home/curso/Escritorio/tesis_L111/clasificaciones/SVN/swa1_10_1990

Overall Accuracy = (661/678) 97.4928%

Kappa Coefficient = 0.9681

| Class | sdval | cultivosval | veg1val | veg2val | aguaval |
|--------------|-------|-------------|---------|---------|---------|
| Unclassified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| sd | 125 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| agua | 0 | 313 | 0 | 0 | 0 |
| cultivos | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| veg1 | 0 | 0 | 135 | 0 | 1 |
| veg2 | 0 | 0 | 3 | 185 | 1 |
| agua | 15 | 0 | 0 | 0 | 83 |
| Total | 130 | 318 | 138 | 187 | 83 |

| Class | sdval | cultivosval | veg1val | veg2val | aguaval |
|--------------|-------|-------------|---------|---------|---------|
| Unclassified | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| sd | 125 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| agua | 15 | 0 | 0 | 0 | 83 |
| cultivos | 113 | 313 | 0 | 0 | 0 |
| veg1 | 135 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| veg2 | 194 | 0 | 0 | 185 | 0 |
| agua | 88 | 0 | 0 | 0 | 83 |
| Total | 678 | 318 | 138 | 187 | 83 |

| Class | Commission (Percent) | Omission (Percent) | Commission (Pixels) | Omission (Pixels) |
|----------|----------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| sd | 0.00 | 0.00 | 0/0 | 0/0 |
| agua | 0.00 | 0.00 | 0/0 | 0/0 |
| cultivos | 0.00 | 95.76 | 0/0 | 1/2 |
| veg1 | 0.00 | 0.00 | 0/0 | 1/138 |
| veg2 | 1.00 | 4.24 | 1/83 | 1/138 |
| agua | 0.85 | 0.00 | 0/0 | 87/83 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| Class | Prod. Acc. (Percent) | User Acc. (Percent) | Prod. Acc. (Pixels) | User Acc. (Pixels) |
|----------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| sd | 100.00 | 100.00 | 125/125 | 125/125 |
| agua | 99.15 | 99.45 | 83/83 | 83/83 |
| cultivos | 94.07 | 94.87 | 313/318 | 313/318 |
| veg1 | 94.07 | 94.87 | 135/138 | 135/138 |
| veg2 | 83.54 | 77.65 | 185/187 | 185/187 |

5/1/1991

Class Confusion Matrix

Confusion Matrix: C:\Users\Usuario\Documents\Elvira\searte\Tesis\clasificaciones\SVN\swa5_1_1991

Overall Accuracy = (411/455) 90.3297%

Kappa Coefficient = 0.8776

| Class | sdval | aguaval | cultivosval | veg1val | veg2val |
|--------------|--------|---------|-------------|---------|---------|
| Unclassified | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| sd | 100.00 | 1.89 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| agua | 0.00 | 98.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| cultivos | 0.00 | 0.00 | 97.29 | 1.06 | 2.32 |
| veg1 | 0.00 | 0.00 | 0.85 | 85.11 | 13.95 |
| veg2 | 0.00 | 0.00 | 1.89 | 11.83 | 83.72 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| Class | sdval | aguaval | cultivosval | veg1val | veg2val |
|--------------|--------|---------|-------------|---------|---------|
| Unclassified | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| sd | 25.71 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| agua | 11.42 | 100.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| cultivos | 23.30 | 0.00 | 97.29 | 1.06 | 2.32 |
| veg1 | 28.44 | 0.00 | 0.85 | 85.11 | 13.95 |
| veg2 | 19.12 | 0.00 | 1.89 | 11.83 | 83.72 |
| Total | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |

| Class | Commission (Percent) | Omission (Percent) | Commission (Pixels) | Omission (Pixels) |
|----------|----------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| sd | 11.11 | 0.00 | 12/111 | 0/111 |
| agua | 0.00 | 1.89 | 0/52 | 1/52 |
| cultivos | 2.82 | 17.71 | 3/106 | 15/118 |
| veg1 | 13.96 | 14.89 | 12/93 | 14/94 |
| veg2 | 17.24 | 16.26 | 15/97 | 14/86 |

| Class | Prod. Acc. (Percent) | User Acc. (Percent) | Prod. Acc. (Pixels) | User Acc. (Pixels) |
|----------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| sd | 100.00 | 88.88 | 104/104 | 104/117 |
| agua | 98.11 | 100.00 | 62/62 | 62/62 |
| cultivos | 87.29 | 97.17 | 103/118 | 103/106 |
| veg1 | 85.11 | 86.02 | 89/94 | 88/91 |
| veg2 | 83.72 | 82.76 | 72/86 | 72/87 |