



Percepción **Remota**

Aplicación de la percepción remota a la vigilancia epidemiológica

APLICACIÓN DE LA PERCEPCIÓN REMOTA A LA VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA.

Introducción

Con el desarrollo de las tecnologías de la información geográfica, la posibilidad para cartografiar las variaciones espaciales y temporales de los riesgos asociados a plagas es más importante que nunca por los cambios ambientales que se están produciendo actualmente. El cambio climático global, las pérdidas de ecosistemas y las transformaciones en el paisaje están cambiando la geografía de las plagas y están influyendo en la diseminación de éstas en lugares en las que se consideraban como erradicadas o controladas. Estas variaciones han generado la aparición de nuevas patologías exóticas provenientes de otras regiones del mundo y han extendido las áreas de habitabilidad de los vectores o transmisores de las enfermedades, permitiendo que se muevan con facilidad hacia nuevas fronteras, ya no sólo en latitud sino también en altitud.

La Percepción Remota es una potente herramienta de análisis espacial que tiene el potencial de enriquecer los estudios epidemiológicos y su aplicación en problemas fitosanitarios por la información ambiental que de ella se puede derivar y que inciden en la aparición y distribución de las plagas. Las características espaciales, temporales y espectrales de los sensores a bordo de los satélites, proveen una amplia gama de posibilidades de uso en aplicaciones fitosanitarias, como proporcionar información sobre el clima, la delimitación de los distintos usos de suelo sobre el territorio y sus cambios en el tiempo, ya sea por cuestiones naturales o antropogénicas, detección de hábitats, determinar los distintos tipos de cobertura vegetal y obtener su vigor para establecer sus condiciones ecológicas. Estos datos permiten caracterizar las condiciones ambientales en las que se desarrollan las plagas, mantener una visión espacial global de la problemática y proporcionan la base para que, en combinación con métodos matemáticos y estadísticos, se puedan construir modelos predictivos de riesgo para zonas con el potencial de ser afectadas por organismos causantes o transmisores de enfermedades (Hay, 2000).

Los elementos proveídos por las imágenes de satélite son esenciales en la vigilancia epidemiológica, ya que permiten mantener una observación sistemática, activa y continua de un daño o posible daño causado por una plaga y los factores asociados a su presencia dentro de una determinada comunidad vegetal. La vigilancia epidemiológica abarca el monitoreo y el análisis de la información para la planeación, evaluación y la toma de decisiones, orientadas a la implementación de estrategias para prevenir la introducción o la dispersión de plagas; por lo que, para que la vigilancia cumpla su función, y las intervenciones en salud fitosanitaria sean efectivas, es indispensable contar con un sistema de información permanente y actualizado que provea, a los diferentes actores sociales que participan en el proceso de vigilancia, herramientas fiables para identificar medir y analizar con claridad factores y eventos previamente definidos como sujetos de atención y que adviertan sobre la necesidad de intervención oportuna para prevenir o disminuir en lo posible los daños causados por las plagas. Mucha de esta información es obtenida por imágenes de satélite. (Rivas *et al.*, 2009).

Características principales de la Percepción Remota

La aplicación de las Tecnologías de Percepción Remota constituye una nueva herramienta de vigilancia fitosanitaria sobre la cual se ha centrado parte del ciclo de información espacial del SINAVEF. Muchos de los parámetros asociados con cambios en el medio ambiente y patrones de enfermedades pueden ser censados remotamente por instrumentos que están en los satélites, modelarlos espacial y/o temporalmente con software especializado para describir local y globalmente algunos de los hechos que influyen los patrones y abundancia de enfermedades.

La Percepción Remota (PR), se refiere a la adquisición de información de la superficie de la tierra a distancia sin entrar en contacto con ellos a través de un sensor que captura la energía reflejada o emitida por un objeto. El principio fundamental recae en el hecho de que los distintos objetos sobre la superficie

reflejan la energía de acuerdo a su composición física y química, por lo que conociendo esas características se puede determinar que objetos se pueden interpretar en las imágenes y su situación en ese momento. Este principio permite interpretar las imágenes, describirlas y entender las condiciones ambientales en las que se desarrolla determinada plaga.

En un sentido más estricto, las técnicas de PR miden la cantidad de energía electromagnética que los objetos dispersan mediante distintos mecanismos de índole físico al interactuar con una fuente de radiación electromagnética, regularmente la energía solar. Los principales sistemas de PR lo constituyen los satélites artificiales que giran en torno a la tierra, los cuales poseen una serie de aditamentos tecnológicos (sensores) capaces de detectar las señales emanadas y reflejadas por objetos sobre la superficie terrestre resultantes de la interacción con la radiación solar; la manera de representar esa información es mediante las denominadas imágenes de satélite. Estas imágenes no solo proporcionan información a nivel visual sino también en una serie de ámbitos físicos y estadísticos (Lillesand, *et al.*, 2007).

En la actualidad existe información tanto en calidad como en cantidad que sería impensable de obtener si no fuera por medio de sensores a bordo de satélites. Este tipo de información permite determinar fenómenos a escala global y también a escala local. En este sentido, cabe aclarar que el propósito de la Percepción Remota en epidemiología fitosanitaria no es detectar la plaga en sí, sino los elementos asociados con esta para poder describir y entender las condiciones ambientales en las que se desarrolla.

Las ventajas de utilizar imágenes de satélite en epidemiología fitosanitaria son las siguientes (Chuvieco, 2002):

- Proveen de una visión global y exhaustiva de la superficie terrestre al capturar información de grandes regiones o de la totalidad del planeta, lo que permite entender diversos procesos que afectan el medio ambiente.
- Ofrecen una perspectiva panorámica de la superficie al proporcionar una amplia visión de los hechos geográficos en cada imagen, lo que no se puede lograr por otros medios.
- Permiten obtener información a diferentes niveles de detalle de acuerdo a la información del satélite que se utilice
- Facilitan información sobre tipos de energía que no son accesibles al ojo humano o la fotografía convencional como el infrarrojo o el térmico, que proporcionan valiosa información de aspectos ambientales como el vigor vegetal, la humedad o la temperatura.
- Brindan información repetitiva de un mismo sitio en condiciones comprobables de observación, lo que resulta idóneo para abordar estudios multi-temporales.

Acervo de imágenes de satélite utilizadas por el SINAVEF en la vigilancia fitosanitaria

Los principales insumos empleados en la metodología de PR dentro del SINAVEF se enlistan en la Tabla 8. En ella se detallan las principales características de las imágenes satelitales, el sensor utilizado para la adquisición de la misma, la resolución espacial y sus aplicaciones (Figura 20).

La gama de satélites franceses Spot (del francés, *Système Probatoire pour l'Observation de la Terre*) vienen equipados con un sensor HRV (High Resolution Visible) capaz de capturar imágenes en un área total de 60 km x 60 km y con una muy alta resolución espacial: hasta 2.5 m por pixel en el canal pancromático y de 10 m en las bandas verde, roja e infrarrojo. En un esfuerzo conjunto de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y la Secretaría de Marina (SEMAR) se ha logrado la instalación y operación de la Estación de Recepción México (ERMEXS) de la constelación de satélites Spot. La alta resolución espacial de este tipo de imágenes permite realizar estudios desde un nivel local hasta un regional con escalas cartográficas de hasta 1:50000.

Para estudios a nivel regional se emplean imágenes del satélite Landsat. Las imágenes Landsat cubren un área en promedio de 185 km x 185 km. Los satélites Landsat, dependiendo de los años en que se

lanzaron, vienen equipados con los sensores MSS (Multispectral Scanner Sensor), TM (Thematic Mapper) y ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus). La resolución espacial va desde los 80 m hasta los 25 m por pixel. La información cartográfica que se puede obtener está en escalas del orden 1: 250000. Los usos de las imágenes Landsat son básicamente en la detección y delimitación de cubiertas vegetales y sus cambios multi-temporales. La presencia de hasta 7 bandas espectrales (como en el caso de Landsat - ETM+) hace a este tipo de imágenes importantes para estudios de firmas espectrales de cultivos, zonas de flora silvestre, suelos e Índices Normalizados de Vegetación (NDVI).

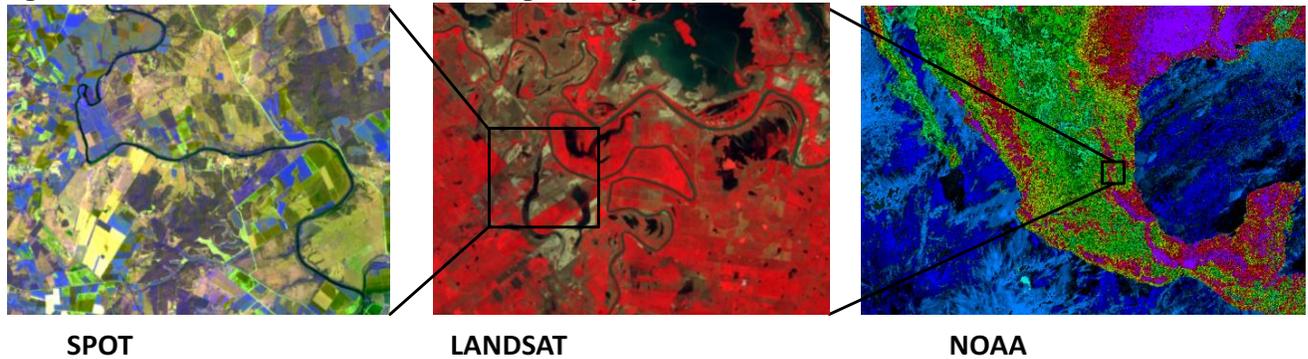
Tabla 8. Características de las imágenes de satélite utilizadas en SINAVEF

Satélite	Sensor	Cobertura Espacial	Resolución Espacial	Información Cartográfica	Aplicaciones
Spot	HRV	Local	2.5 x 2.5 m ² 10 x 10 m ²	1:50000	Tipificación agrícola. Identificación de cultivos. Usos de suelo.
Landsat	MSS	Local Regional	80 x 80 m ²	1:250000	Identificación de diversas cubiertas vegetales y áreas agrícolas. Cambios multi-temporales de la cubierta vegetal. Vigor Vegetal.
	TM		30 x 30 m ²		
	ETM+		25 x 25 m ²		
NOAA	AVHRR	Regional Nacional	1.1 x 1.1 km ²	1:1000000	Vigor vegetal. Temperatura de suelo y humedad. Condiciones climáticas

Las imágenes NOAA-AVHRR son imágenes que los satélites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) capturan mediante el sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer). Este tipo de imágenes cubren todo el territorio nacional y son importantes para el monitoreo y vigilancia de toda la república mexicana. El tamaño de pixel de este tipo de insumos es de 1.1 km por lado; cada imagen tiene una cobertura espacial de un área de 3000 km x 3000 km. La cartografía típica que se puede elaborar a partir de una imagen NOAA llega hasta escalas de 1:1000000. SINAVEF posee un acervo de imágenes NOAA-AVHRR desde el año de 1996 hasta la fecha cuya fuente principal ha sido el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México. Se reciben imágenes diarias, además de productos compuestos de imágenes de 10 días para reducir el efecto de las nubes, en los que se obtiene información utilizada para observar los cambios en el vigor la de vegetación (NDVI). Las imágenes NOAA permiten tener un mecanismo de monitoreo asociado con el estrés que la vegetación silvestre, hospederos y cultivos pueden tener por efectos de una plaga o el clima. El monitoreo es a nivel nacional y regional, con periodicidad temporal para dar un seguimiento histórico y de tiempo real. Además del NDVI, es posible obtener otros productos mediante la combinación entre las bandas, como la temperatura superficial de suelo a partir de una térmicas (4 y 5) de las imágenes NOAA (Parra *et al*, 2006).

Adicionalmente, se utiliza información generada por la NOAA, el Servicio Meteorológico Nacional y el Centro Nacional de Huracanes, para observar las oscilaciones de temperatura atmosférica y del océano y monitorear los efectos del fenómeno de El Niño, las sequías y los huracanes.

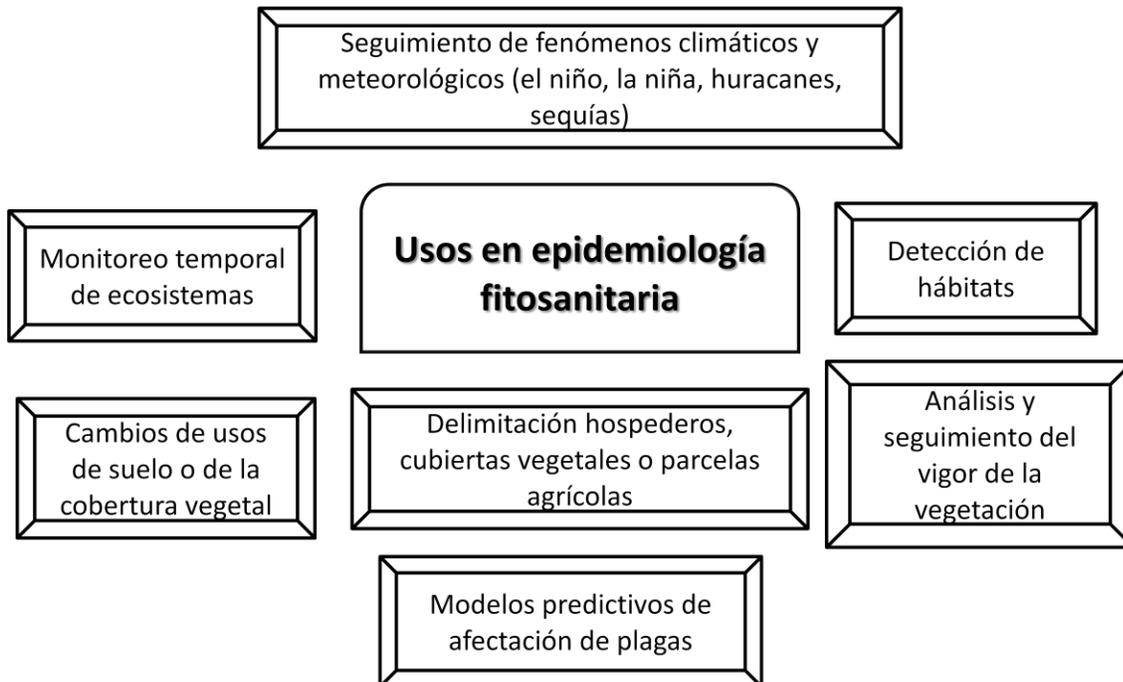
Figura 20. Nivel de detalle de las diversas imágenes empleadas en SINAVEF



Aplicaciones en epidemiología fitosanitaria

Los sistemas de percepción remota se han convertido en una fuente valiosa para obtener información en diferentes aspectos del ámbito vegetal y agrícola. La PR se ha posicionado como un elemento fundamental en el manejo y toma de decisiones de la producción agrícola, particularmente para aquellas zonas donde los cultivos suelen pasar por períodos críticos asociados a plagas y clima. En el SINAVEF la PR es empleada en la identificación de factores ambientales que influyen en la aparición de las plagas (clima y hospederos), el monitoreo y seguimiento de éstos; además, es utilizada para la delimitación de áreas agrícolas, identificación de diversas cubiertas vegetales, monitorear el estrés de la vegetación a través del vigor vegetal de las plantas, la detección de hábitats de las diversas plagas y los cambios en el uso del suelo, jugando para ello un papel primordial las características temporales, espaciales y espectrales de las imágenes empleadas (Mack Strickland *et al*, 1998) (Figura 21).

Figura 21. Utilización de las imágenes de satélite en epidemiología fitosanitaria



Análisis y seguimiento del vigor de la vegetación

En percepción remota existen un conjunto de parámetros numéricos que permiten evaluar el estado de la vegetación. Estas cantidades están íntimamente relacionadas con la manipulación de los valores de reflectancia (la capacidad que tienen los objetos de reflejar radiación electromagnética, en este caso de la vegetación) que los píxeles tienen sobre dos o más bandas de una misma imagen satelital. Entre los más importantes índices figuran los que conducen a evaluar el estado de salud de la vegetación. Un índice de vegetación es un número generado por la combinación de bandas espectrales que tienen relación con la cantidad de la vegetación presente en un determinado píxel de la imagen.

El más conocido y usado es el Índice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index) definido como (Tarpley *et al.*, 1984):

$$NDVI = \frac{R_{IRC} - R_{R,Vis}}{R_{IRC} + R_{R,Vis}}$$

Donde R_{IRC} es la reflectancia espectral en la banda infrarrojo cercano y $R_{R,Vis}$ representa la reflectancia en la banda roja del visible. El NDVI produce una medida cuantitativa que está relacionada con las condiciones de la vegetación y su biomasa. Los valores de este índice fluctúan entre -1 y 1. A partir de 0.2 indica presencia de vegetación, y entre más alto sea el valor, las condiciones de vigor son mejores. Éste parámetro es muy importante ya que permite dar seguimiento temporal a las condiciones de vigor o estrés vegetal de los hospederos susceptibles a plagas y poder determinar su nivel de vulnerabilidad (Figura 22).

Seguimiento de fenómenos meteorológicos y climáticos

Las plagas mantienen una estrecha relación con el clima, por lo que las variaciones de éste pueden afectar la distribución espacial de los problemas fitosanitarios al favorecer condiciones para el establecimiento de las plagas. El cambio climático, las oscilaciones de temperatura, las sequías o las inundaciones más severas causadas por fenómenos de El Niño, la Niña o los huracanes, que pueden además ser medios de transporte de organismos patógenos, son fenómenos que no pueden ser entendidos si no se tiene una perspectiva mundial o regional de la problemática. Las imágenes de satélite representan una herramienta de gran utilidad para este tipo de seguimientos, ya que proporcionan una visión global del espacio que permite mantener el monitoreo de estos fenómenos y con ello poder hacer estimaciones de los posibles daños asociados a las plagas (Figura 23).

Hospederos y cubiertas vegetales

La cubierta vegetal es otro de los factores que influyen en la distribución geográfica de las plagas al ser los elementos que funcionan como hospederos y a través de los cuales se desarrollan los organismos. Conocer su localización y su extensión permite determinar las posibles vías de entrada y dispersión de plagas para estimar los posibles daños asociados con éstas. La utilidad de las imágenes de satélite en inventarios de usos de suelo está ampliamente reconocida por su capacidad de discriminar diversas cubiertas vegetales de acuerdo con el nivel de detalle de las imágenes que se utilicen. A partir de la clasificación de los valores digitales de la imagen es posible obtener una cartografía o inventario de categorías objeto de estudio. Además, el análisis multi-temporal que ofrecen las imágenes de satélite permite determinar los cambios en el tiempo y posibilita realizar seguimientos a las condiciones ambientales en las que se desarrollan las plagas (Figuras 24 y 25).

Toda la información derivada de los procesos llevados a cabo con las imágenes de satélite es conjuntada en Sistemas de Información Geográfica para realizar análisis integrales que permitan facilitar la pronta respuesta ante cualquier indicio de un agente patógeno, peligroso o potencialmente dañino para la vegetación natural o los cultivos.

Figura 22. Índice Normalizado de la Vegetación
Índice Normalizado de Vegetación (Segunda semana de diciembre de 2009)

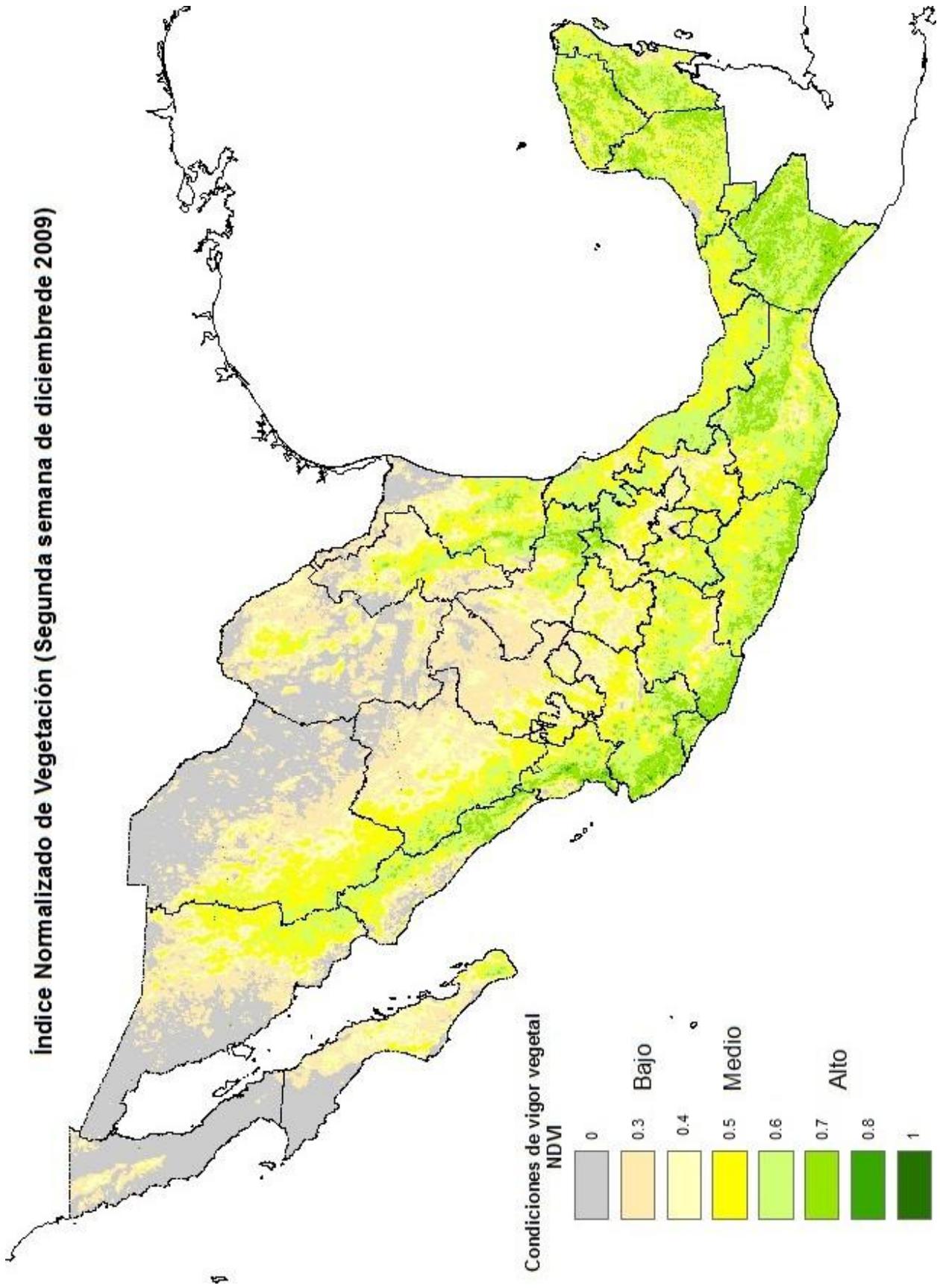


Figura 23. Fenómenos climáticos y meteorológicos monitoreados a través de imágenes de satélite (Imágenes obtenidas de la NOAA y del Servicio Meteorológico nacional)

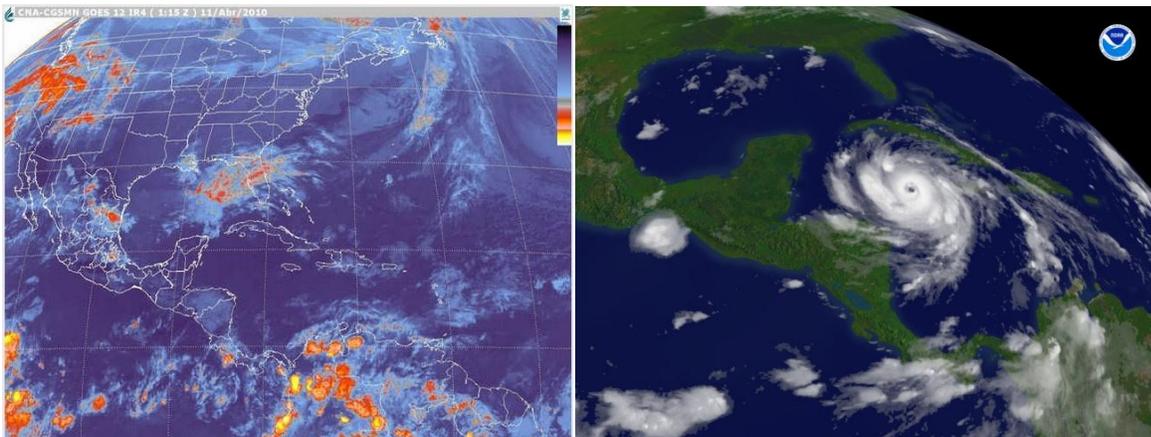
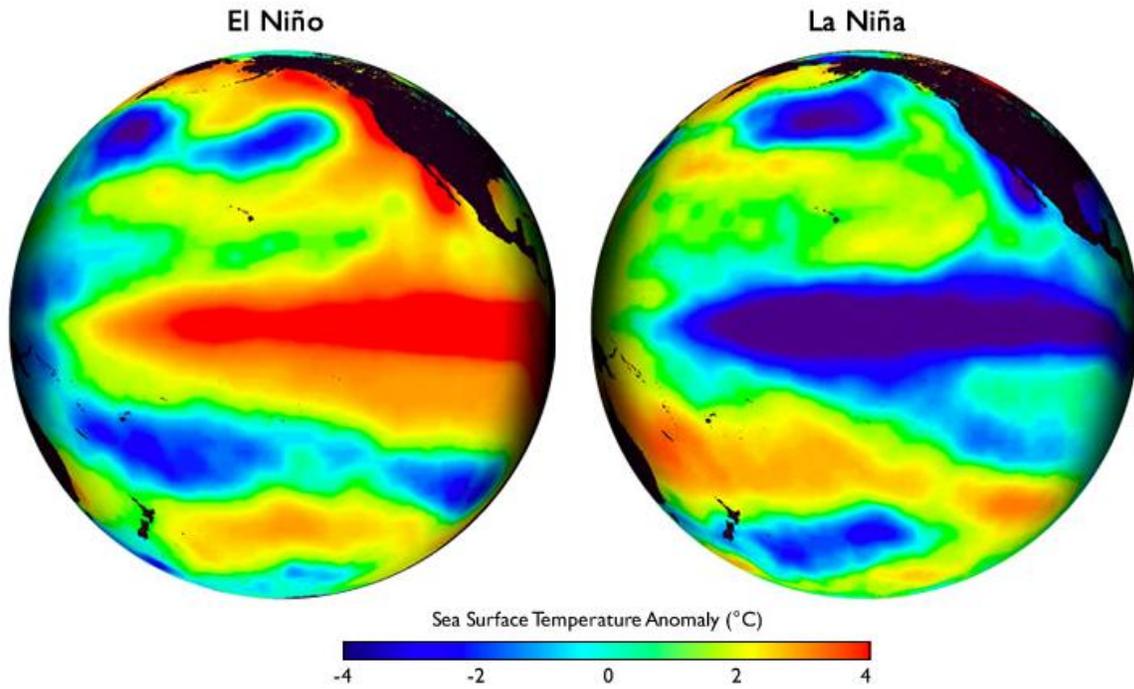


Figura 24. Imagen Spot compuesto falso color 432



Figura 25. Delimitación de zonas agrícolas mediante la clasificación de imágenes SPOT



Bibliografía.

Balaselvakumar S. and Saravanan S., Remote Sensing techniques for Agriculture Survey. [on line] disponible en [<http://www.gisdevelopment.net/application/agriculture/overview/agrio014pf.htm>]. [consultado el 19 de marzo de 2010].

Chuvieco, E. 2002. Teledetección ambiental. La observación de la tierra desde el espacio. Ariel.

Hay. S. 2000. An overview of Remote Sensing and Geodesy for Epidemiology and Public Health application. En: Hay S., Randolph S., Rogers, D. (edits) Remote Sensing and Geographical Information Systems in Epidemiology. Advances in Parasitology 47. Academic Press, Londres. pp. 2-36.

Lillesand, T., Kiefer, R., Chipman, J. 2007. Remote Sensing and image interpretation. Wiley & Sons. United States.

Mack Strickland R., Ess Daniel R. y Parsons Samuel D. 1998. Precision Farming and Precision Pest Management: The Power of New Crop Production Technologies. Journal of Nematology 30 (4): 431 – 435

Moraguez, J., Hernández, A. 2003. Uso de la información espacial en la gestión de la salud. Comisión Nacional de Actividades Espaciales. Argentina.

NOAA. Seguimiento Huracán Dean. National Hurricane Center. [Online] disponible en [<http://www.nhc.noaa.gov/pastprofile.shtml>]. [Consultado el 5 de marzo de 2010]

Servicio Meteorológico Nacional. Imagen satélite GOES, infrarrojo. Comisión Nacional del Agua. México

Seto, K., Woodcock, C., Song, X., Lus, J. y Kaufmann, R. 2002. Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM. International Journal of Remote Sensing. 23(10),pp. 1985-2004.

Parra, J.C., Sobrino J.A., Acevedo P.S. y Morales L.J. 2006. Estimación de la temperatura de suelo desde datos satelitales AVHRR-NOAA aplicando algoritmos de split window. Revista Mexicana de Física 52 (3): 238-245, Junio.

Rivas E., Díaz, Y., Borrueal, G., Perovan, J. 2009. Principios y componentes de un sistema de vigilancia fitosanitaria. *Temas de Ciencia y Tecnología* vol. 13 núm. 38, mayo-agosto

Tarpley, J., Schneider, S y Money, R. 1984. Global vegetation indices from NOAA-7 meteorological satellite. J. Clim. Appl. Meteorol. 23: 491-494.