

CAPÍTULO 18 |

EL EMPLEO DE SENSORES REMOTOS
Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN
GEOGRÁFICA EN EL MANEJO DE LA
PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR

Autores

Federico J. Soria

Carmina V. Fandos

Pablo Scandaliaris

EL EMPLEO DE SENSORES REMOTOS Y SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL MANEJO DE LA PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR



INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la información generada por la tecnología espacial se ha convertido en un elemento de uso diario a nivel masivo en áreas de aplicación inmediata como comunicaciones, meteorología, manejo de recursos naturales y productivos, detección de catástrofes, entre otros y de manera especial en la agricultura.

Un sensor remoto es un dispositivo que recoge energía, la convierte en una señal y la presenta en forma adecuada para obtener información sobre el medio ambiente.

Los sensores a bordo de satélites utilizados en el dominio de los recursos naturales se han ido refinando y especializando con cada nueva generación, al igual que los sistemas de procesamiento de los datos recibidos. Esto facilita los estudios de los recursos naturales en distintas escalas, desde los niveles de grandes regiones hasta los de predios individuales.

Los datos satelitales pueden ser transformados digitalmente para hacerlos comparables con la cartografía y la información de terreno y así constituir un Sistema de Información Geográfica (SIG), el cual permite el manejo de datos e información referenciada espacialmente.

En la actualidad, estas son herramientas indispensables para los estudios orientados hacia el inventario de recursos y la optimización de sus usos con distintos fines, siendo fundamentales al momento de la toma de decisiones para la planificación y ordenamiento del uso de la tierra.

ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE CAÑA DE AZÚCAR

Desde el año 1997, la EEAOC, en cooperación con la Comisión de Actividades Espaciales (CONAE), realiza el monitoreo de los cañaverales tucumanos mediante la utilización de la información generada por imágenes satelitales. Anualmente se estima la superficie cultivada con caña de azúcar y se realiza la cuantificación

de la materia prima aprovechable para la producción de azúcar a partir de la diferenciación en tres niveles de rendimiento cultural (t/ha).

Para los trabajos de estimación se utiliza una metodología mixta basada en la aplicación de diferentes técnicas de procesamiento de imágenes satelitales y herramientas de SIG, complementadas con trabajos de validación a campo.

El detalle de la información obtenida, estadística y gráfica, es a nivel departamental lo que facilita la elaboración de diagnósticos de situación.

La información generada en los relevamientos realizados entre los años 1997 a 2008 se encuentra al servicio del productor, permitiendo al mismo una visión general de la región donde se encuentra su explotación cañera, lo que facilita la apreciación del potencial de la zona. A modo de ejemplo en la Figura 1 se aprecia la distribución geográfica por niveles de producción de la caña de azúcar en la provincia de Tucumán, en la zafra 2008.

AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La agricultura de precisión (AP) es un concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de variabilidad en campo. Requiere el uso de las tecnologías de Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores próximos y remotos, imágenes satelitales y aéreas junto con Sistemas de Información Geográfica (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones. La información recolectada puede ser usada para evaluar con mayor precisión la densidad óptima de siembra, estimar fertilizantes y otras entradas necesarias, y predecir con más exactitud la producción de los cultivos.

Permite al agricultor dividir un campo o lote en zonas de gestión o manejo diferenciadas, y tratar a cada una de ellas independientemente con el fin de optimizar el uso del recurso suelo y de los insumos en cada sitio agronómico.

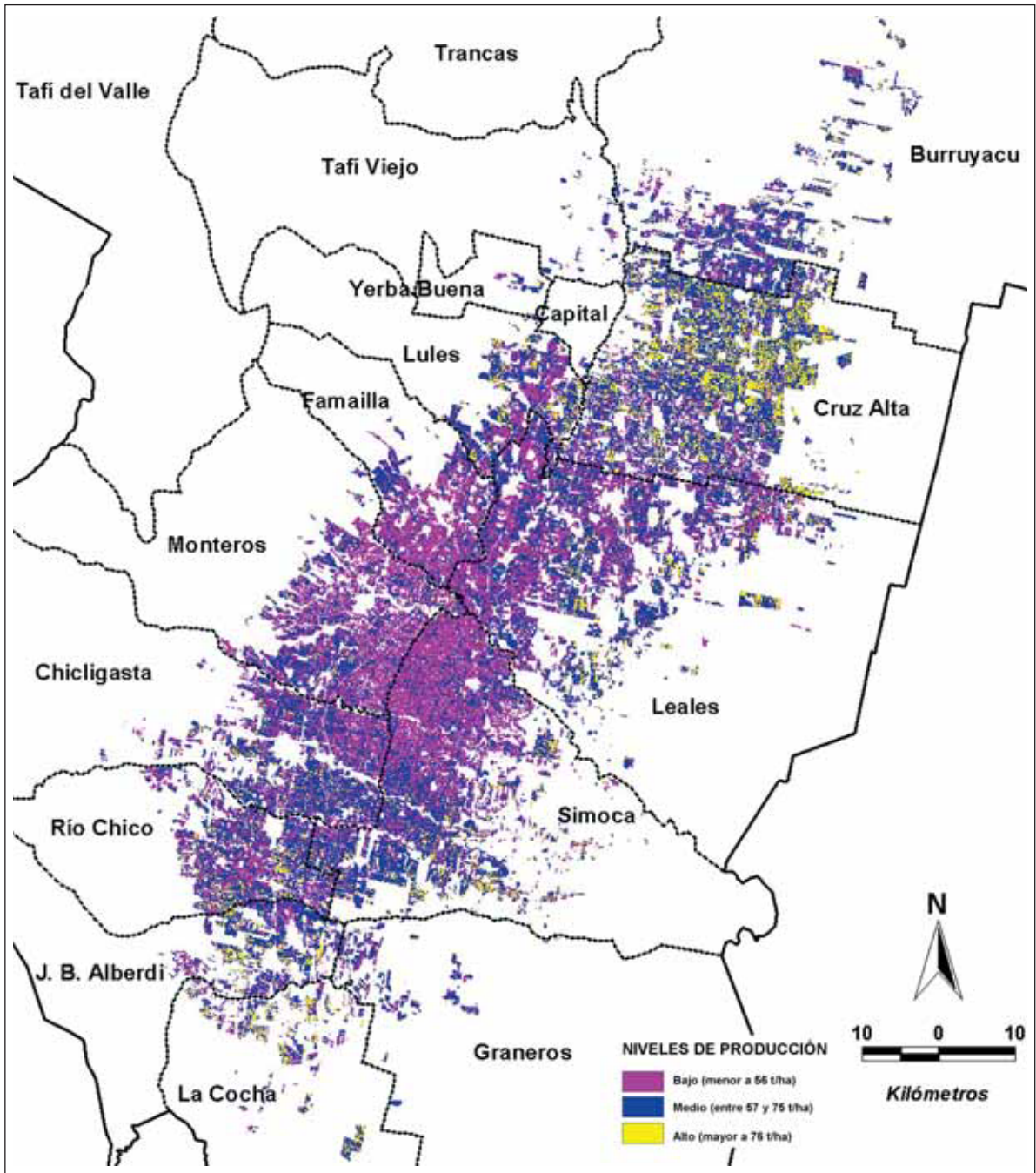


Figura 1: Distribución geográfica por niveles de producción del área cañera en la provincia de Tucumán - Zafra 2008.

La AP se basa en la coordinación del uso de la informática y de los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), lo que permite almacenar, integrar y construir patrones de información espacial. Es decir, la posibilidad de obtención de datos georeferenciados, como los generados por sensores remotos, y la superposi-

ción de mapas temáticos, posibilita la confección de mapas representativos de modelos de información espacial con acentuada rapidez y exactitud. Dichos mapas facilitan el examen de un amplio conjunto de variables que son consideradas en decisiones de manejo de suelo, y permiten ajustar el manejo agronómico y la

aplicación de insumos a diferentes unidades de reconocimiento.

La agricultura de precisión tiene como objetivo optimizar la gestión de una parcela desde el punto de vista:

- **Agronómico:** ajuste de las prácticas de cultivo a las necesidades de la planta.
- **Medioambiental:** reducción del impacto vinculado a la actividad agrícola.
- **Económico:** aumento de la competitividad a través de una mayor eficacia de las prácticas.

Además, la agricultura de precisión pone a disposición del agricultor numerosas informaciones que pueden:

- Constituir una memoria real del campo.
- Ayudar a la toma de decisiones.
- Ir en la dirección de las necesidades de rastreabilidad.

Con respecto a este tema, se propone al productor cañero los siguientes servicios a nivel de finca o lote:

Diferenciación de niveles de producción de caña de azúcar a nivel de lote

A nivel de lote es factible realizar una diferenciación de niveles de producción de biomasa de caña de azúcar, para lo cual es necesario que exista homogeneidad en cuanto a variedad y edad. De esta manera el productor puede identificar en su campo sectores de distinta biomasa, lo que le facilitará la detección de las causas que originan tal variabilidad y a su vez le permitirá realizar un tratamiento diferencial en las labores culturales del cañaveral.

Se toma como base la metodología utilizada a nivel departamental complementada con la utilización de imágenes de distintos tipos de sensores.

A modo de ejemplo del proceso, en la Figura 2 se puede observar un fragmento de una imagen Landsat 5 TM en composición RGB 4-5-3 correspondiente al 16 de abril de 2008 sobre la que se delimitó un lote cultivado con la variedad RA 87-3, edad soca 2, el cual según datos estimados a campo, presenta un rendimiento cultural de 84 t/ha. Sobre dicha imagen se superpuso la clasificación a nivel provincial (Figura 3), observándose que la estimación de producción correspondió al nivel alto de producción (más de 76 t/ha). La Figura 4 muestra la clasificación a nivel de lote,

distinguiéndose una mayor diferenciación de rangos de producción de biomasa lo que permite la zonificación del lote.

Estudios de gabinete para la identificación e inventario de diferentes clases de cobertura y/o uso de la tierra

Se define *uso de la tierra* como el resultado de la síntesis entre la acción del hombre y el medio natural, síntesis que surge de la interac-



Figura 2: Imagen Landsat 5 TM, composición RGB: 4-5-3. Lote cultivado con variedad RA 87-3, edad soca 2.



Figura 3: Clasificación provincial de niveles de producción superpuesta sobre la imagen Landsat 5 TM, composición RGB: 4-5-3.



Figura 4: Clasificación a nivel de lote superpuesta sobre la imagen Landsat 5 TM, composición RGB: 4-5-3.

ción de todos los fenómenos que tienen lugar en un espacio determinado.

El uso de la tierra está relacionado con la utilización de los recursos naturales y no naturales y su distribución sobre la superficie terrestre.

Hasta la utilización de la información generada por sensores remotos, el tema del uso de la tierra fue enfocado básicamente desde el punto de vista de la utilización de los recursos y del medio ambiente.

Como el sensor de un satélite proporciona información sobre la superficie terrestre, en realidad la información es sobre la cobertura y no sobre el uso, dado que en muchos casos el uso no se ve y su interpretación es deductiva a partir del conocimiento de la cobertura y sus características.

Al trabajar con material de sensores remotos, generalmente es difícil hacer la discriminación entre uso y cobertura. Por ello, el criterio adoptado es que las clases de cobertura (por ejemplo la vegetación) sean usadas como clases de uso o actividad. Incluso en el caso de presencia de nubes, las mismas se delimitan y forman una clase, lo mismo que el agua.

El tipo de estudio propuesto permite al productor, a partir de un trabajo de gabinete utilizando la información satelital, la identificación y cuantifica-

ción, de manera rápida y segura, de las distintas coberturas presentes en su finca o región.

A modo de ejemplo, en la Figura 5 se observa un inventario de cobertura de la tierra a nivel regional: con el objetivo de identificar las actividades más favorecidas por la mejora de un camino, se delimitó el área de influencia a 5 km a cada lado del mismo identificándose posteriormente las coberturas: caña de azúcar, soja, y maíz.

En la Figura 6 se observa un inventario de cobertura de la tierra a nivel de finca. Se aprecia en detalle la distribución espacial de cada una de las clases determinadas: monte, pastizales, áreas con problemas de capa freática y agua en superficie.

Relevamientos de la topografía y pendientes a partir de imágenes radar e imágenes Landsat

Tomando como base la información generada por imágenes radar SRTM (Shuttle Radar Topographic Misión), se construyen los MDT (Modelo digital de terreno) a partir de los cuales se generan curvas de nivel y mapas de pendiente de suelo.

En este punto cabe aclarar algunas características de la fuente empleada para realizar este cálculo. Las imágenes radar utilizadas tienen



Figura 5: Inventario de la cobertura de la tierra a nivel regional.

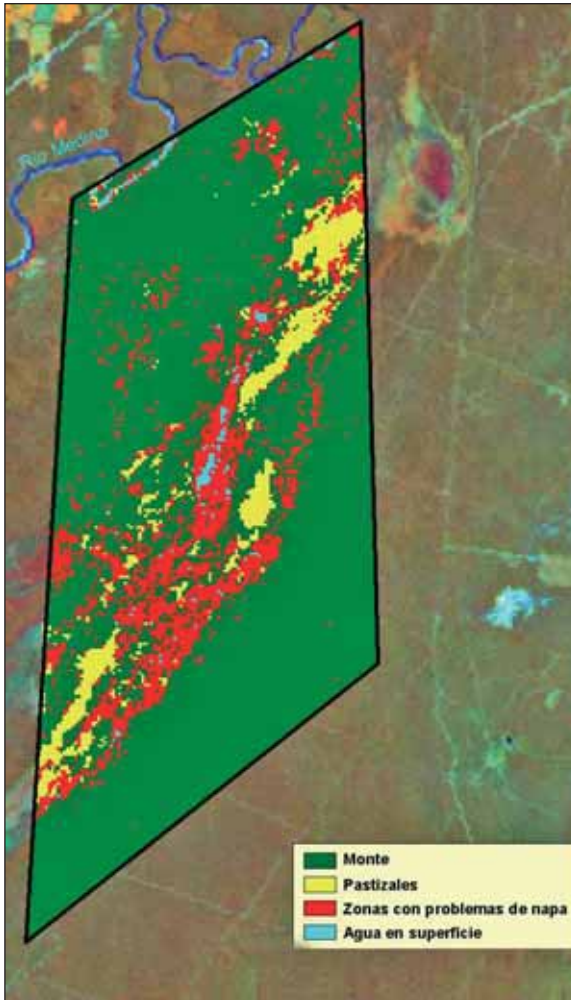


Figura 6: Inventario de cobertura de la tierra a nivel de finca.

una resolución espacial de 90 m, por lo que el resultado es el promedio de un área de casi 1 ha, donde las pendientes locales son absorbidas o asimiladas por la generalización en esta superficie.

Estos estudios permiten tener una visión general de la topografía de la finca, en especial cuando se trata de fincas ubicadas en sectores de pedemonte o en fincas con montes naturales y de gran extensión, donde una prospección terrestre implica un alto costo en tiempo y dinero.

En las Figuras 7, 8 y 9 se ejemplifica el estudio propuesto sobre una finca en particular. La Figura 7 muestra un MDT en 3D (tres dimensiones) realizado a partir de imágenes radar, sobre el cual se desplegó una imagen Landsat 5 TM en composición RGB 4-5-3.

Estudios detallados de pendientes de suelo

Se realizan estudios detallados de pendientes de suelo utilizando equipos DGPS (equipo GPS de medición diferencial, post-proceso). Estos equipos permiten obtener una precisión en el orden de los centímetros, con un muy bajo nivel de error, por lo que los resultados se utilizan para la generación de curvas de nivel con hasta 10 cm de equidistancia, dependiendo de la fisiografía del terreno, lo que posibilita la sistematización de fincas.

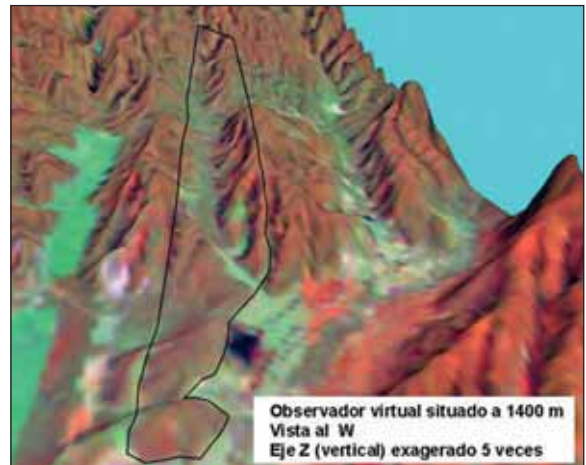


Figura 7: MDT en 3D a partir de imágenes radar, sobre el cual se desplegó una imagen Landsat 5 TM, composición RGB 4-5-3.



Figura 8: Mapa de curvas de nivel.

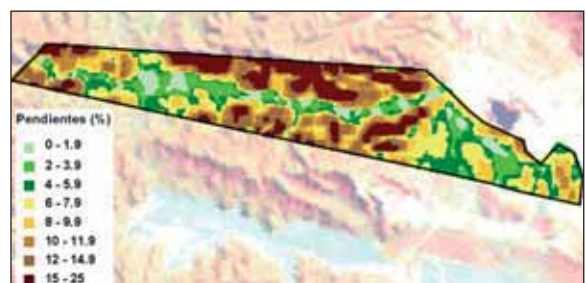


Figura 9: Mapa de pendientes de suelo.

En la Figura 10 se observa a un técnico preparando la *base* del equipo DGPS, para luego recorrer el lote con el equipo GPS *móvil*.

La Figura 11 muestra una fotografía aérea de la Sub-Estación Santa Ana de la EEAOC, sobre la que se superpuso la cobertura de curvas de nivel generadas a partir del equipo DGPS, con una equidistancia de 0,50 m. Las mismas fueron utilizadas para la diagramación del riego de los ensayos con cañaverales.



Figura 10: Técnico trabajando con un equipo DGPS.

Relevamientos aerofotográficos

El estudio de las fotografías aéreas a pequeña escala permite al usuario destacar las relaciones entre la pedología, la morfología, las estructuras agrarias y la distribución de las especies vegetales.

Se realizan relevamientos aerofotográficos, a escalas 1:1000 o escalas más detalladas.

En la Figura 12 se expone la fotografía aérea de ángulo recto de un cañaveral, en la misma pueden apreciarse los efectos negativos de los paleocauces o cauces abandonados sobre el cañaveral. Una vez determinada la escala pueden realizarse mediciones en el fotograma.

La Figura 13 muestra una fotografía aérea de ángulo oblicuo. En primer plano se observa

el cañaveral en el que aparecen las distintas tonalidades debidas al cambio de variedades. Al fondo puede apreciarse un campo con cítricos. La fotografía aérea oblicua, si bien no permite realizar mediciones, provee una vista más amplia, abarcando más terreno que la fotografía aérea vertical. Por otra parte es una visión de la superficie terrestre más natural que la vertical.

Archivo de imágenes satelitales, mapas y fotografías aéreas

La EEAOC tiene a disposición de los productores de la región un archivo de imágenes satelitales Landsat, SAC-C, CBERS IIB y otros, que cubren todo el NOA, lo que facilita, entre otras cosas, el seguimiento de las prácticas culturales de la finca o lote y la evolución de nuevos proyectos.

Este archivo de imágenes satelitales es complementado con una mapoteca, con cartas y mapas a distintas escalas cubriendo toda el área de influencia de la EEAOC y con un archivo de fotografías aéreas digitalizadas de toda el área productiva de la provincia de Tucumán.

En la Figura 14 se puede observar dos imágenes satelitales Landsat 5 TM, en composición RGB 4-5-3, de la misma zona, una correspondiente al año 1987 y otra obtenida en el año 2008. Al comparar ambas imágenes se aprecia el avance de la superficie desmontada a favor de agricultura.

Equipos para AP en caña de azúcar disponibles en el mercado

Cuando se habla de agricultura de precisión inmediatamente se la asocia a los *mapas de rendimiento* obtenidos por una cosechadora equipada con sensores de rendimiento y un equipo GPS, mediante los cuales se puede graficar la distribución de la productividad en un mapa con coordenadas geográficas, lo que permitiría realizar una primera diferenciación de ambientes dentro del campo. Este tipo de equipos están disponibles para cultivos como soja, trigo o maíz, lamentablemente los sensores de rendimiento para acoplar a las cosechadoras de caña de azúcar se encuentran en la actualidad en etapa de desarrollo.

Sin embargo, las marcas líderes en maquinarias y equipamientos agrícolas del mercado ofrecen una serie de productos de AP al productor cañero.



Figura 11: Curvas de nivel con una equidistancia de 0,50 m. Subestación Santa Ana - EEOC.

En el mercado se encuentran tanto software (programas asociados a la AP) como *Fierros* o equipamientos mecánicos.

Entre los primeros se destacan los programas para la gestión agrícola, y los sistemas de información geográfica (SIG) adaptados a la agricultura.

Los primeros son aplicaciones para el geren-

ciamento agrícola que permiten al agricultor, desde su oficina, controlar varios aspectos importantes de los trabajos de su finca. Permiten administrar costos y hacer un seguimiento a variables como campos, cultivos, variedades, rendimientos, máquinas, fertilizantes y agroquímicos, entre otros.

Los segundos aportan la dimensión espacial



Figura 12: Fotografía aérea de ángulo recto de cañaverales.



Figura 13: Fotografía aérea de ángulo oblicuo de cañaverales.

a la gestión de las explotaciones agrícolas, permitiendo una rápida interpretación de las variables involucradas en la producción agrícola y elaborar síntesis que faciliten la toma de decisiones.

Con respecto a los equipamientos las empresas normalmente ofrecen sistemas o familias de equipos, los cuales pueden adquirirse por sepa-

rado de acuerdo a las necesidades del productor. Estos sistemas modulares tienen, en general, un sistema básico que está compuesto por un receptor y antena GPS, un módulo con el procesador principal, y una pantalla, la cual tiene por finalidad hacer de interfase con el usuario para poder visualizar la información.

Entre los distintos módulos que pueden asociarse a este equipo *Base* se destacan:

- **Sistema de autoguiado o piloto automático:** el cual permite guiar la maquinaria de manera automática sobre una trayectoria de trabajo predeterminada, a través del accionamiento automático del sistema de dirección, donde el operador solamente necesita realizar las maniobras de cabecera.
- **Banderillero satelital:** orienta visualmente al operario para mantenerse sobre una línea de aplicación predeterminada, a través de aviso visual, sonoro e indicación en la pantalla.
- **Control de dosis variable:** a partir de la delimitación de áreas homogéneas dentro del lote esta tecnología nos permite el tratamiento diferencial de los mismos, ya sea para la aplicación de plaguicidas o fertilizantes.
- **Mapeo automatizado de conductividad eléctrica de suelos:** Estos equipos son capaces de generar mapas geo-referenciados con la distribución espacial de dos importantes propiedades del suelo: la conductividad eléctrica (EC) y el pH; lo cual permite delimitar ambientes de características homogéneas que permitan un manejo sectorizado o un trato agronómico más eficiente acorde a las características de cada sector. Es además de suma utilidad para la generación de muestreos de suelo geo-referenciados dirigidos, como también para la determinación de limitantes y fertilidad potencial.

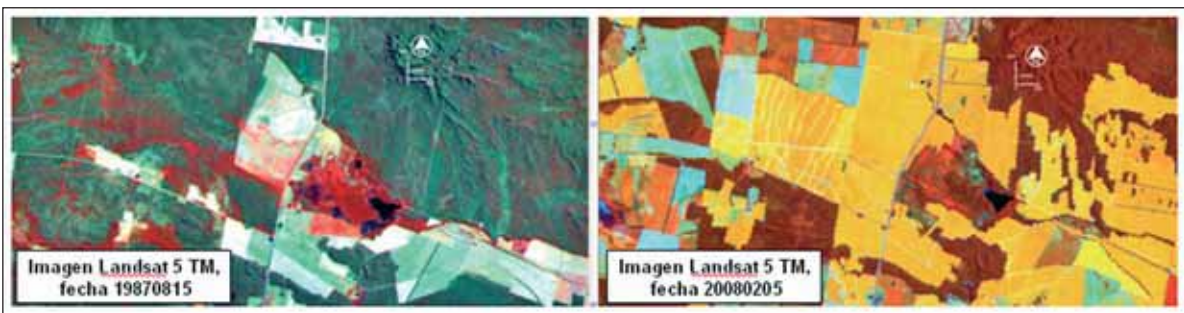


Figura 14: Comparación de imágenes Landsat 5 TM de diferentes fechas.