Esta superficie se comparó con la superficie considerada como cambio con la técnica de la diferencia entre imágenes de NDVI la información se consigna como una matriz de error en el Cuadro 15.

En ese Cuadro se observa que los porcentajes de la superficie que se consideró que tuvo un cambio en las dos estimaciones fué de 0.50% del total de la imagen. Mientras que la superficie que se consideró con cambio pero que no fue clasificada en las dos imágenes en total fue de 0.32% del total de la superficie.

Cuadro 15. Matriz de error para la comparación de las imágenes de la diferencia de NDVI (columnas) y la imagen del segundo componente (hileras).

| | Sin Cambio | | Con Cambio | |
|---|---|---|---|---|
| | Hectáreas | Porcentaje | Hectáreas | Porcentaje |
| Sin cambio | 66701.7 | 99.18 | 94.0 | 0.15 |
| Con cambio | 98.4 | 0.17 | 335.9 | 0.50 |

**4.3. Evaluación cualitativa del uso de suelo.**

Para cumplir con el segundo objetivo propuesto se procedió a estimar el cambio de uso de suelo empleando información cualitativa de las diferentes clases de uso y comparando los resultados obtenidos para 1970 y 1996.

Los resultados se muestran en las siguientes secciones, en principio se consigna la información empleada para seleccionar la combinación de tres bandas y así formar las imágenes de falso color compuesto, posteriormente se muestra la

información relacionada a la clasificación para las dos fechas evaluadas y por ultimo la comparación entre fechas.

### 4.3.1. Selección de bandas para la composición de imágenes en falso color compuesto (FCC).

La combinación de tres bandas para formar las imágenes de falso color compuesto, de tal forma que estas contengan la máxima variabilidad estadística y así resaltar al máximo los atributos superficiales del área de estudio se describen en las siguientes tres secciones:

**4.3.1.1. Índice del Factor Óptimo (OIF).** Este factor se calculó de acuerdo al procedimiento de Dewivedi y Rao (1992), usando la varianza y la correlación de cada banda. En el Cuadro 16, se presentan los resultados de la estimación del Índice del Factor Óptimo (OIF) para las seis combinaciones de bandas con el valor más alto de OIF, agrupadas de mayor a menor. La variabilidad máxima en las combinaciones de tres bandas esta en la combinación con el valor más alto de OIF.

En el mismo Cuadro 16 se observa que las combinaciones de las bandas 4–5–7, 1–4–5, 3–4–5, 1–4–7 y 2–4–5 aparecen en las tres fechas con los valores más altos de OIF. Por consecuencia es de esperarse que estas combinaciones contengan la mayor variabilidad.

Como se anotó anteriormente, la banda 4, en las tres fechas, presentó la menor correlación lineal con el resto de las bandas, por lo que la decisión sobre la combinación de tres bandas conteniendo la máxima variabilidad y mínima correlación debe darse en aquella donde se incluya la banda 4 y la correlación entre el otro par de bandas sea el mínimo.

Cuadro 16. Índice del Factor Óptimo (OIF), para las combinaciones de bandas con mayor varianza.

| Combinación de bandas | OIF 1986 | Combinación de bandas | OIF 1988 | Combinación de bandas | OIF 1996 |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 – 5 – 7 | 28.20 | 1 – 4 – 5 | 54.57 | 1 – 4 – 5 | 43.19 |
| 1 – 4 – 5 | 23.33 | 3 – 4 – 5 | 50.29 | 3 – 4 – 5 | 39.45 |
| 3 – 4 – 5 | 21.98 | 4 – 5 – 7 | 43.97 | 2 – 4 – 5 | 38.39 |
| 1 – 4 – 7 | 21.67 | 2 – 4 – 5 | 42.07 | 4 – 5 – 7 | 36.33 |
| 3 – 4 – 7 | 20.62 | 1 – 4 – 7 | 37.67 | 2 – 3 – 7 | 28.84 |
| 2 – 4 – 5 | 19.47 | 3 – 4 – 7 | 35.99 | 1 – 4 – 7 | 28.38 |

Aunque cualquier combinación de las mencionadas anteriormente, pudo haberse seleccionado, como la combinación 1-4-5 presenta la menor correlación entre las bandas 1 y 5 se determinó que la máxima variabilidad para las tres fechas, de acuerdo al Índice del Factor Óptimo (OIF).

**4.3.1.2. Análisis de Componentes Principales (PCA).** Se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) con los valores originales de las bandas para determinar la variabilidad de las mismas y estimar la asociación entre las bandas originales y los componentes formados. En el Cuadro 17, se presenta la información de la varianza asociada a cada uno de los componentes generados en las tres fechas. Se observa que con los primeros tres componentes es posible explicar el 98.14, 98 73 y 99.18% de la varianza total en las imágenes de 1986, 1988 y 1996 respectivamente.

Esto significa que el resto de los componentes (4, 5 y 6) tienen una aportación mínima a la varianza total de las tres imágenes.

Cuadro 17 Varianza acumulada asociada a cada componente para las imagenes de 1986, 1988 y 1996. Se excluyo la banda 6 (infrarrojo térmico).

| | 1986 | 1988 | 1996 |
|---|---|---|---|
| Componente 1 | 86.18 | 81.86 | 77.34 |
| Componente 2 | 94.94 | 93.34 | 95.75 |
| Componente 3 | 98.14 | 98.73 | 99.18 |
| Componente 4 | 99.04 | 99.53 | 99.68 |
| Componente 5 | 99.89 | 99.89 | 99 93 |
| Componente 6 | 100.0 | 100.0 | 100.0 |

En el Cuadro 18 se presenta la correlación entre las bandas originales y el componente 1, para las tres fechas evaluadas Se observa, en términos generales, que la banda 5 tiene la mayor correlación con el componente 1 seguida de la banda 7. Las bandas 3, 2 y 1 presentaron menor correlación con el componente 1, mientras que las 4 presentó la correlación mas baja con este componente. Esto quiere decir que las bandas 5 y 7 tiene mayor aportación a la varianza total de la imagen y que por consecuencia la información contenida en ellas esta muy relacionada a la información del componente 1. Es decir estas bandas se parecen mas al componente 1. Por su parte el resto de las bandas no aportan gran información a la variación total del conjunto de imágenes por fecha.

En el análisis visual de la imagen generada para el primer componente (no se muestra la imagen), se observo que esta imagen representa la distribución de la

vegetación característica de la región En tonalidades oscuras se observaron las áreas con mayor vegetación entre las cuales destacan los afluentes de los arroyos, la vegetación asociada al río Pilón y las áreas sin desmontar. Mientras que en tonalidades más claras resaltaron las áreas con menor densidad de vegetación como son las áreas donde se practica la agricultura. Este comportamiento pudo observarse en las imágenes de las tres fechas.

Cuadro 18. Correlación de las bandas originales con el componente 1, para las imágenes de 1986, 1988 y 1996.

| | 1986 | 1988 | 1996 |
|---|---|---|---|
| Banda 1 | 0.814 | 0.848 | 0.866 |
| Banda 2 | 0.854 | 0.860 | 0.864 |
| Banda 3 | 0.917 | 0.927 | 0.920 |
| Banda 4 | 0.336 | -0.055 | -0.112 |
| Banda 5 | 0.991 | 0.982 | 0.987 |
| Banda 7 | 0.971 | 0.976 | 0.980 |

La correlación entre las bandas y el segundo componente se muestra en el Cuadro 19. Se observa que en este componente la correlación más alta se dio con la banda 4 (Infrarrojo cercano). Era de esperarse este comportamiento ya que el principio del Análisis de Componentes Principales se basa en que cada componente es ortogonal al resto de los componentes. Para el resto de las bandas la correlación con este componente fue muy baja es decir, que poco contribuyeron a la información del componente 2.

En el análisis visual de las imágenes creadas con la información generada por el Análisis de Componentes Principales, se observó que el segundo componente está asociado a la vegetación en crecimiento, por ejemplo las áreas agrícolas. Estas se reconocen porque son áreas que presentan tonalidades de grises a blanco contrastando con el resto de la imagen y porque tienen trazos geométricos bien definidos.

Cuadro 19. Correlación de las bandas originales con el componente 2, para las imágenes de 1986, 1988 y 1996.

| | 1986 | 1988 | 1996 |
|---|---|---|---|
| Banda 1 | 0.229 | 0.186 | 0.045 |
| Banda 2 | 0.339 | 0.286 | 0.186 |
| Banda 3 | 0.200 | 0.137 | -0.002 |
| Banda 4 | 0.911 | 0.982 | -0.993 |
| Banda 5 | -0.039 | 0.007 | 0.098 |
| Banda 7 | -0.185 | -0.150 | -0.146 |

La correlación de las bandas originales con el componente 3 se muestra en el Cuadro 20. La banda 1 mostró la mayor correlación, en las tres fechas, seguida de las bandas 2 y 3. Es decir, las bandas 1, 2 y 3 son las que más aportan a la varianza explicada por el tercer componente.

La imagen generada para el tercer componente mostró objetos bien reconocibles como el trazo del río Pilón, las vías de comunicación incluyendo carreteras y vías férreas, y las áreas urbanas correspondientes a las poblaciones de General Terán y Montemorelos.

Analizando la información anterior se puede afirmar que la combinación de bandas que mayor aportan a la varianza total del conjunto de bandas es la banda 5, altamente correlacionada con el componente 1; la banda 4 altamente correlacionada con el componente 2 y la banda 1 seleccionada del componente 3. Observese que esta combinación de bandas (1-4-5) fue la que se consideró con la mayor variabilidad usando el Índice del Factor Óptimo como estimador Por lo que, para la formación de las imágenes de falso color compuesto se empleo la combinación 1-4-5

Cuadro 20. Correlación de las bandas originales con el componente 3, para las imágenes de 1986, 1988 y 1996.

| | 1986 | 1988 | 1996 |
|---|---|---|---|
| Banda 1 | 0.459 | 0.475 | 0.477 |
| Banda 2 | 0.316 | 0.387 | 0.436 |
| Banda 3 | 0.278 | 0.328 | 0.372 |
| Banda 4 | -0.211 | -0.162 | 0.004 |
| Banda 5 | -0.107 | -0.181 | -0.119 |
| Banda 7 | 0.015 | -0 019 | -0.032 |

**4.3.1.3. Imágenes de falso color compuesto (FCC).** En la Figura 11 se presentan las imágenes de falso color compuesto (FCC) para 1986, 1988 y 1996, formadas con las bandas azul, infrarroja cercana e infrarroja media (1, 4 y 5 respectivamente) Además, en la Figura 12 se presentan las imágenes de falso color compuesto formadas con las bandas verde, roja e infrarrojo cercano (2, 3 y 4).

En las dos figuras se observa, en la esquina inferior izquierda la mancha urbana de Montemorelos y el inicio del río Pilón cuya trayectoria se describe del sudoeste al noreste de las imágenes. El trazo del río se hace más evidente en la imagen de 1988. Sobre el mismo trazo del río se observa la mancha urbana de General Terán.

Las áreas abiertas al proceso de producción agrícola se distinguen por su trazo perpendicular a lo largo del río Pilón y por su forma geométrica regular de rectángulo alargado. La diversidad de tonalidades que presentan estas áreas, en las dos figuras, se atribuye a la gran cantidad de combinaciones entre el suelo y la cubierta vegetal debidas principalmente al sistema de producción de citrícos.

Alguna superficie con características de matorral se observa en tonalidades verdes en la Figura 11 y rojo en la Figura 12 Estas áreas se distinguen por su forma geométrica irregular. Sobre todo en los cerros y lomas que cruzan esta área.

En la esquina inferior derecha, y en la parte superior de esta, se observa en las tres imágenes un patrón irregular de superficie en color blanco (Figura 11) y en tonalidades de grises y azules (Figura 12). Esta área, como se verá mas adelante, se considera en franco proceso de desertificación pues son suelos cuya cubierta vegetal se encuentra disminuida en diferentes grados hasta el extremo de suelos desnudos.

### 4.3.2. Clases temáticas evaluadas.

Los grupos de vegetación y/o uso de suelo digitalizados en las cartas de INEGI fueron 92. En estos grupos se consignaban las principales clases de uso de suelo así como sus diversas asociaciones de vegetación. En principio se consideró conveniente manejar las mismas clases temáticas para así tener el comportamiento a través de tiempo, pero debido a la gran cantidad de clases se optó por disminuir su número,

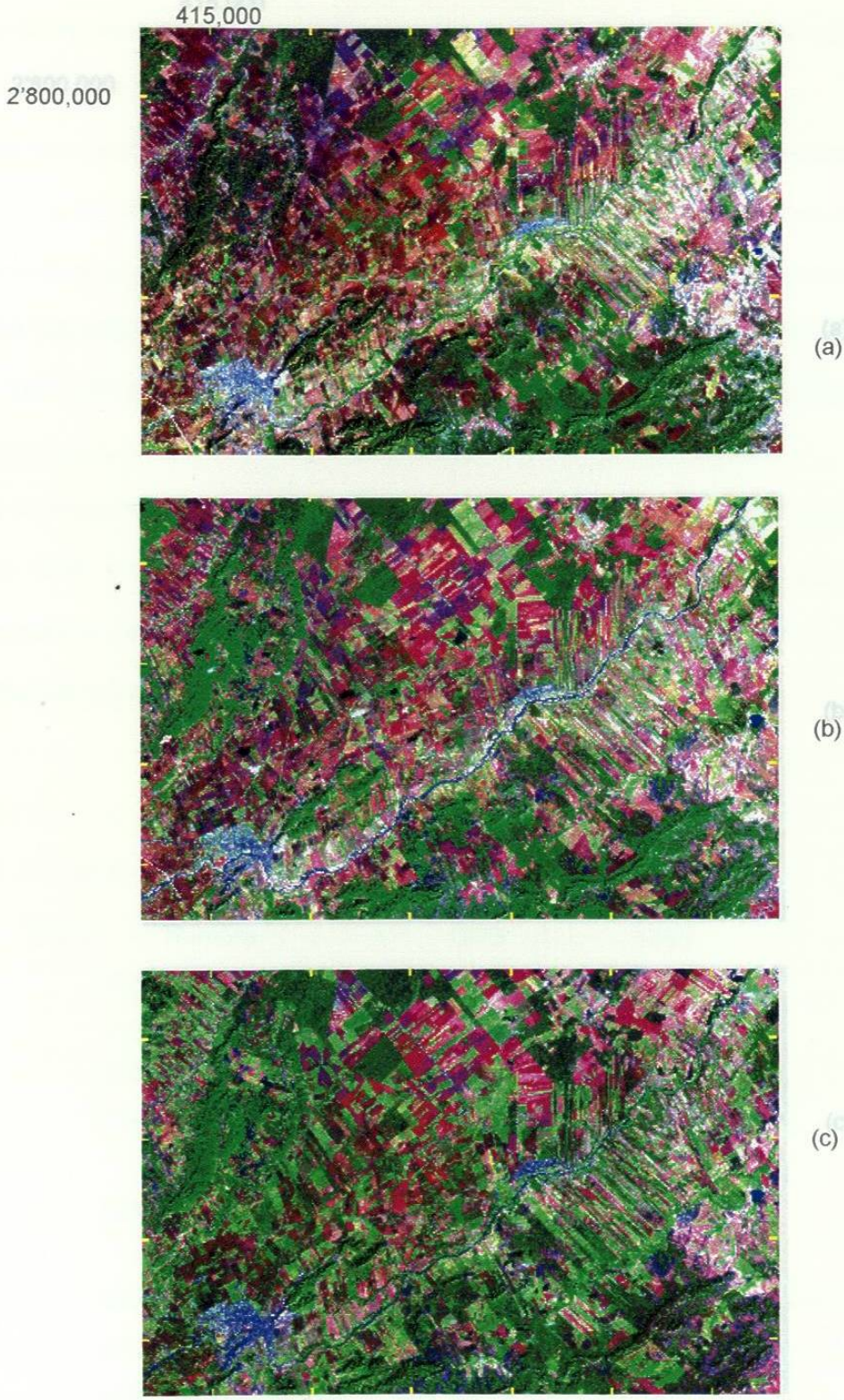



Figura 11. Imágenes de falso color compuesto generadas con las bandas 1, 4 y 5, para 1986 (a), 1988 (b) y 1996 (c).

reagrupándolas de tal forma que pudiera ser manejable y entendible. En principio se consideró conveniente manejar solo 10 clases o menos.

Una vez establecido el criterio de los tipos y número de grupos se procedió a la clasificación de las imágenes. Debido a que solo se contó con tres fechas diferentes se opto por hacer el análisis del cambio de uso de suelo entre las fechas extremas, es decir, entre las imágenes digitalizadas de los mapas de uso de suelo editados por INEGI en 1970 y la imagen clasificada en 1996. Por esta razón no se hizo un análisis de series de tiempo para la información cualitativa.

En la primer fecha se consideraron nueve grupos (Cuadro 21) al igual que en la imagen de 1996. Los grupos comunes para las dos fechas son matorral espinoso, pasto, vegetación de galería, matorral subinerme, agricultura, asociación matorral – pasto, mezquital y áreas urbanas.

Cuadro 21. Clases temáticas registradas para las dos fechas evaluadas

| Clave | Nombre | 1970 | 1996 |
|---|---|---|---|
| 001 | Matorral espinoso | X | X |
| 003 | Pasto | X | X |
| 006 | Bosque | X | |
| 024 | Vegetación Galería | X | X |
| 025 | Matorral subinerme | X | X |
| 080 | Agricultura | X | X |
| 095 | Matorral – Pasto | X | X |
| 096 | Mezquital | X | X |
| 100 | Area Urbana | X | X |
| 200 | Suelo Desnudo | | X |

La clase bosque detectada en 1970 no fue posible definirla en 1996, por lo que solo aparece para la fecha referida. En el caso de la clase denominada Suelo desnudo se pudo establecer su ubicación en la imagen de 1996 pero en la imagen de referencia no se encontró evidencia para asignar esta clase, ya que solo se tenía información relativa a problemas de erosión pero sin definir el grado de exposición del suelo. Por lo que, la clase bosque aparece en 1970 y no en 1996 y la clase suelo desnudo aparece en 1996 y no en 1970.

**4.3.3. Firmas espectrales.**

Los valores promedio de los valores digitales (Dn) para cada banda y firma espectral se muestran en el Cuadro 22. En este Cuadro no se consignan los valores correspondientes a las clases áreas urbanas ni a las diferentes clases de áreas agrícolas, puesto que estas clases no presentaron homogeneidad en la distribucion de sus valores. Esto se debió principalmente a que dentro de esas clases existen subgrupos de clases temáticas que por razones atribuibles al nivel de precisión utilizado en este estudio, no fue posible detectar sus diferencias. Esta aseveración se ilustra en la sección 4.3.5. donde se compara el comportamiento de la banda 4 en las clases suelo desnudo y matorral espinoso.

Se observa, en el mismo Cuadro 22, que los valores de la firma espectral correspondiente a suelo desnudo presenta los más altos valores promedio de reflectancia en todas las bandas al compararse con las otras firmas espectrales. Mientras que en el resto de las firmas espectrales, existe similitud entre ellas, en sus

valores correspondientes a la banda 1, banda 2 y banda 3. Sin embargo, existen diferencias muy marcadas en las bandas 4, 5 y 7

Esto se debe a que esas firmas espectrales corresponden a diferentes niveles de vegetación, lo cual las hace ser muy similares en las bandas correspondientes a la porción del visible y diferentes en las bandas del infrarrojo.

Cuadro 22. Promedio de los valores digitales (Dn) en cada banda para cada clase de suelo.

| | Banda 1 | Banda 2 | Banda 3 | Banda 4 | Banda 5 | Banda 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Matorral espinoso | 54.95 | 20.61 | 17.73 | 52.01 | 52.31 | 17.10 |
| Pasto | 56.61 | 23.51 | 20.29 | 74.49 | 65.18 | 20.90 |
| Veg. Galería | 57.03 | 22.95 | 20.71 | 61.07 | 55.75 | 19.46 |
| Matorral Subinerme | 52.99 | 19.64 | 16.37 | 55.41 | 48.00 | 15 12 |
| Matorral – Pasto | 55.48 | 21.63 | 19.37 | 54.00 | 57.01 | 20.39 |
| Mezquital | 54.37 | 20.78 | 18.11 | 55.21 | 50.76 | 16.89 |
| Suelo desnudo | 81.63 | 39.84 | 49.13 | 57.55 | 122.67 | 66.57 |

**4.3.4. Uso de suelo en 1970.**

En el Cuadro 23 se muestra la superficie ocupada por cada clase temática para 1970. En este Cuadro se observa que la clase agricultura dominaba el área, seguida por los dos tipos de matorral presentes en el área de estudio y por la clase Mezquital. La clase pasto supera las 2000 ha de superficie ocupada. Mientras que las clase

Asociación Matorral – Pasto, Vegetación asociada a los ríos y Bosque ocupaban menores superficies que las clases anteriores.

Una vez que se reagrupo la superficie perteneciente a cada una de las 92 clases en las ocho clases descritas en el Cuadro 23, se obtuvo la distribución espacial de diferentes usos de suelo determinados para la fecha de 1970. (Figura 13). Se observa como característica principal, en la Figura que los diferentes tipos de actividad agrícola se desarrollan en forma perpendicular a lo largo del río Pilón que cruza el área de estudio de Sudoeste a Sudeste. También se observa que una parte de la superficie denominada como Vegetación de Galería, se encuentra asociada al río Pilón y el resto con los ríos El Pilón Viejo y Garrapatas, que en la Figura 13 se encuentran en la esquina superior izquierda.

Cuadro 23. Superficie (ha) para cada Clase temática registrada en 1970.

| Clave | Nombre | Superficie (ha) |
|---|---|---|
| 001 | Matorral espinoso | 6269.43 |
| 003 | Pasto | 2303.21 |
| 006 | Bosque | 237.01 |
| 024 | Vegetación Galería | 871.38 |
| 025 | Matorral subinerme | 17467.11 |
| 080 | Agricultura | 30829.11 |
| 095 | Matorral – Pasto | 3627.35 |
| 096 | Mezquital | 4919.31 |

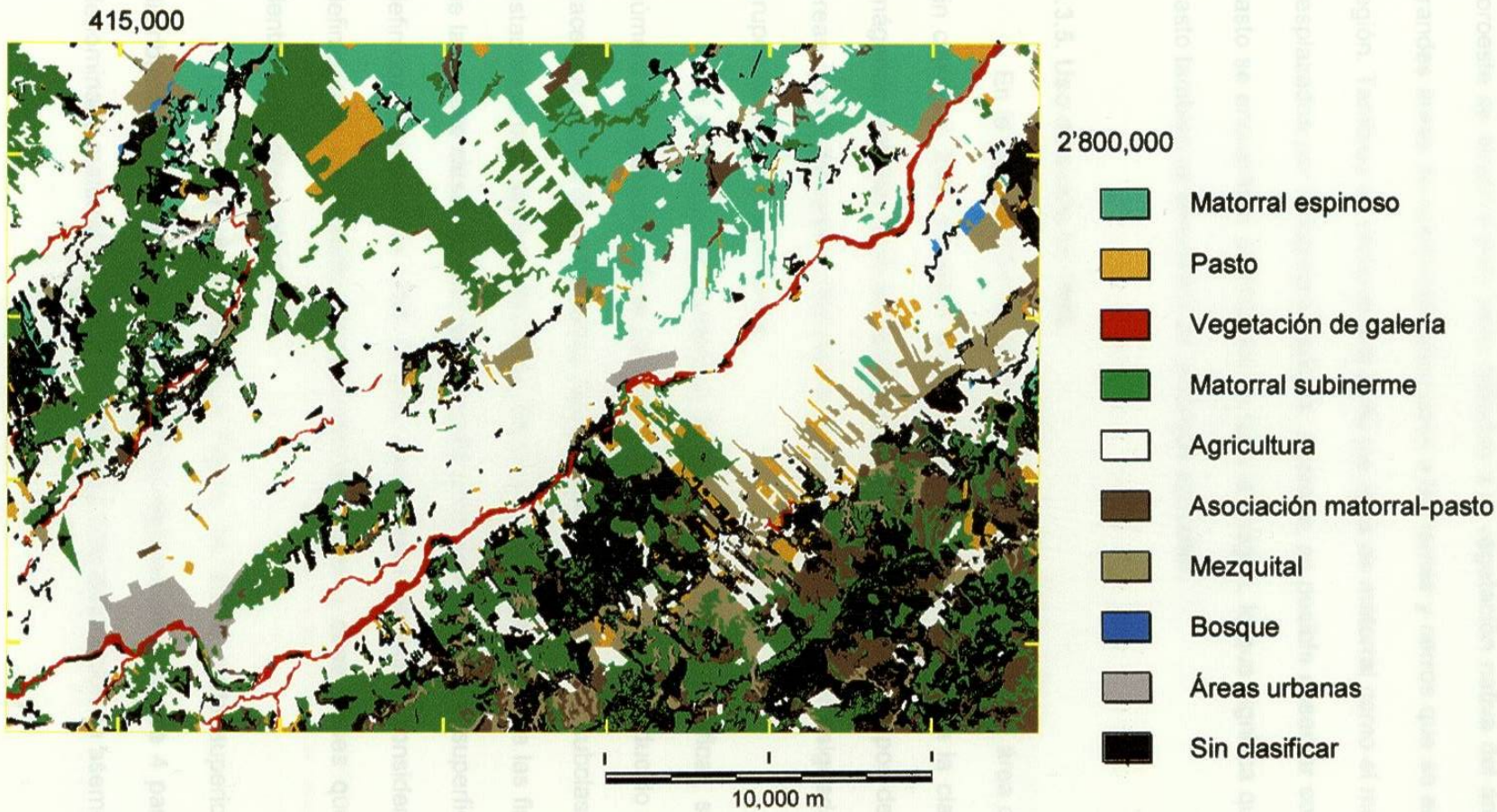



Figura 13. Clases de suelo estimadas para 1970, en la zona citrícola de Nuevo León.

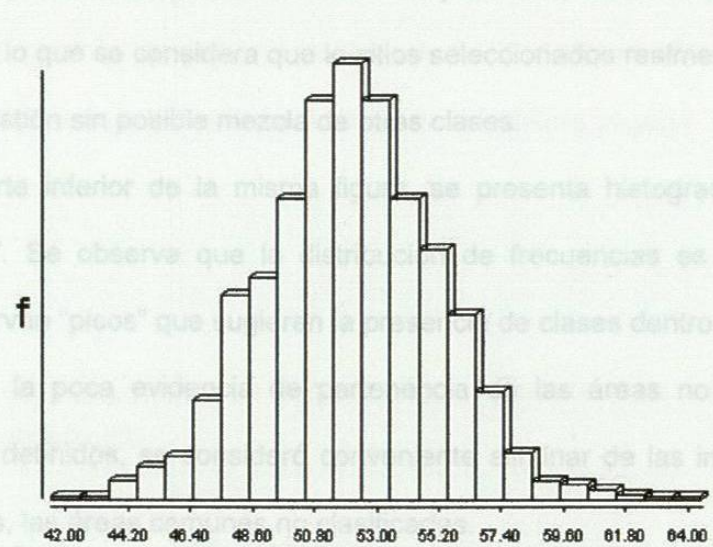
En la esquina Sudeste de dicha figura así como en el norte y en la esquina noroeste se observa muy poco disturbio a la vegetación nativa del área. Mostrándose grandes áreas de matorrales asociados a las lomas y cerros que se encontraban en la región. También se observa que tanto los tipos de matorral como el mezquital han sido desplazados por la frontera agrícola. Además, es posible observar como las áreas de pasto se encuentran distribuidas en toda la imagen, lo que significa que gran parte del pasto también se encuentra en las áreas agrícolas.

**4.3.5. Uso de suelo en 1996.**

- En la clasificación de 1996 una parte de la superficie del área de estudio quedo sin clasificar. Esto se debió a que el algoritmo empleado para la clasificación de las imágenes digitales tiene la capacidad de asignar a nuevos grupos de clasificación las áreas que representan dificultad o poca evidencia para ser asignadas dentro de los grupos definidos previamente.

En este caso, la existencia de esta superficie sin clasificar, se debe a que el número de clases temáticas para agrupar las imágenes, fue reducido a nueve. Lo cual hace que dentro de estas nueve clases existan otras clases o subclases con evidencia estadística muy similar entre ellas. Es decir, que la evidencia de las firmas espectrales de las nueve clases no fue determinante para clasificar toda la superficie en los grupos definidos previamente. Por lo que, cada clase espectral consideró dentro de su definición la información correspondiente a otra u otras clases que se encuentran dentro de su descripción.

Lo anterior se ilustra en la Figura 14. En la parte superior se observa la distribución de frecuencias de los valores digitales de la banda 4 para clase temática denominada matorral espinoso. La forma de esta distribución se asemeja a la forma de



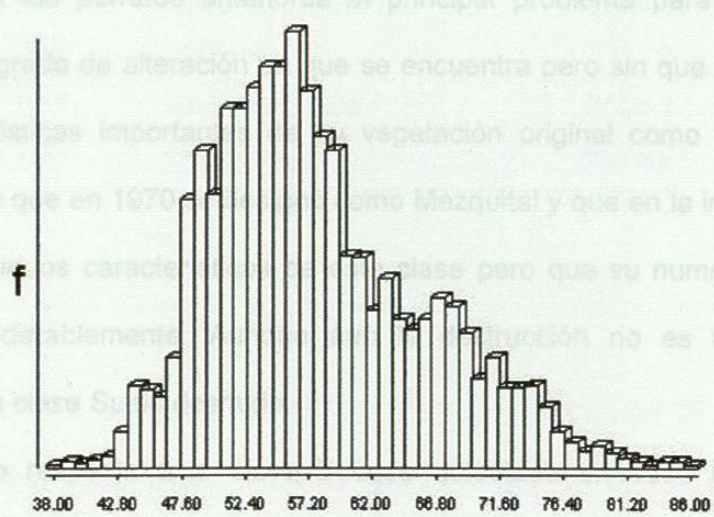




Figura 14. Distribución de la frecuencia de los valores digitales de la banda 4, para matorral espinoso (a) y suelo desnudo (b).

la curva de una distribución normal. Esto sugiere, que el conjunto de la información de los sitios de entrenamiento, para esta clase en particular, tiene un comportamiento homogéneo. Por lo que se considera que lo sitios seleccionados realmente representan a la clase en cuestión sin posible mezcla de otras clases.

En la parte inferior de la misma figura, se presenta histograma de la clase "Suelo desnudo" Se observa que la distribución de frecuencias es heterogénea y además se observan "picos" que sugieren la presencia de clases dentro de clases.

Debido a la poca evidencia de pertenencia de las áreas no clasificadas, a clases o grupos definidos, se consideró conveniente eliminar de las imágenes de las fechas evaluadas, las áreas comunes no clasificadas.

En el Cuadro 24 se consigna la superficie ocupada para cada clase de uso de suelo asignado en 1996. En primer termino se observa que la superficie sin clasificar es de 9276.9 ha lo cual representa el 13.8% de la superficie total del área de estudio. Como se vio en los párrafos anteriores el principal problema para clasificar esta superficie fue el grado de alteración en que se encuentra pero sin que aun se pierdan algunas características importantes de su vegetación original como es el caso de aquella superficie que en 1970 se designó como Mezquital y que en la imagen de 1996 aun existen individuos característicos de esta clase pero que su numero se ha visto disminuido considerablemente. Aunque aun la destrucción no es tal como para considerarla en la clase Suelo desnudo.

En lo que respecta a la clase Bosque detectada en 1970 no fue posible estimarla en la imagen de 1996. Por lo que esta clase no se consideró en esta última fecha. Por último, se incluyó la clase Suelo Desnudo el cual por sus características de reflectancia debidas a la escasa vegetación sobre la superficie sobresale en la imagen de 1996.

En la figura 15 se presenta la distribución espacial de las clases estimadas para 1996. Observe dos hechos importantes por un lado el aumento en la superficie dedica a la agricultura la cual se extiende hacia el norte del área de estudio y en la esquina sureste los problemas asociados a disminución de la cubierta vegetal.

Cuadro 24. Superficie (ha) para cada Clase temática registrada para la fecha 1996, del área de estudio.

| Clave | Nombre | Superficie (ha) |
|---|---|---|
| 001 | Matorral espinoso | 2411.3 |
| 003 | Pasto | 632.3 |
| 024 | Vegetación Galería | 646.5 |
| 025 | Matorral subinerme | 7694.9 |
| 080 | Agricultura | 38591.3 |
| 095 | Matorral – Pasto | 1560.0 |
| 096 | Mezquital | 1713.6 |
| 097 | Suelo desnudo | 3556.1 |
| 200 | Sin clasificar | 9276.9 |

**4.3.6. Cambio en Uso de Suelo de 1970 a 1996.** En el Cuadro 25 se presenta el cambio global para cada clase temática evaluada en 1970. En ese cuadro se excluyeron las clases bosque, suelo desnudo y áreas sin clasificar, la primera debido a la dificultad en estimarla en la fecha de 1996, la segunda porque no se pudo determinar en 1970 y la tercera porque es la misma superficie en 1970 que en 1996.

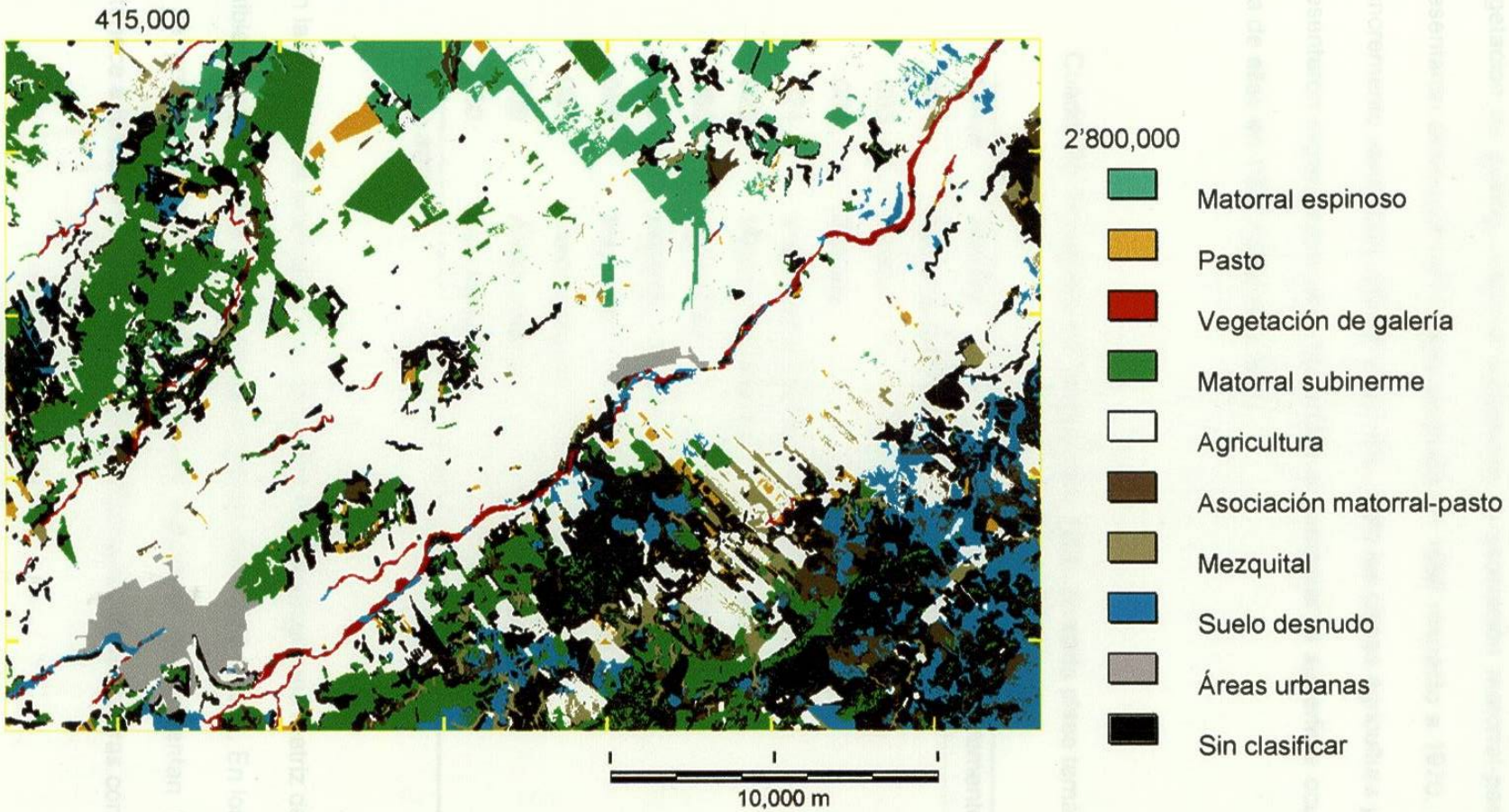



Figura 15. Clases de suelo estimadas para 1996, en la zona citrícola de Nuevo León.

En ese mismo Cuadro, se puede ver que las clases matorral espinoso, pasto, vegetación de galería, matorral subinerme, la asociación matorral-pasto, y mezquital presentaron diminución en el área ocupada en 1996 respecto a 1970. En estos casos el incremento vario entre -26.6% y –57.8%. Solo las clases agricultura y áreas urbanas presentaron incrementos en la superficie al comparar la superficie ocupada por cada una de ellas en 1996 respecto a 1970.

Cuadro 25. Porcentaje de cambio para 1996, en cada clase temática respecto a 1970.

| Clave | Nombre | Superficie ha | Incremento % |
|---|---|---|---|
| 001 | Matorral espinoso | -3309.5 | -57.8 |
| 003 | Pasto | -711.1 | -52.9 |
| 006 | Bosque | | n/a |
| 024 | Vegetación Galería | -234.8 | -26.6 |
| 025 | Matorral subinerme | -4687.9 | -37.6 |
| 080 | Agricultura | 7994.3 | 26.1 |
| 095 | Matorral – Pasto | -1152.0 | -42.5 |
| 096 | Mezquital | 1695.4 | -49.7 |
| 097 | Suelo desnudo | | n/a |
| 100 | Áreas urbanas | 320.8 | 45 4 |
| 200 | Sin clasificar | | n/a |

n/a No aplica

Con la finalidad de analizar el tipo de cambio, se construyó una matriz de error para las posibles combinaciones de las clases temáticas para 1970 y 1996. En los Cuadros 26 y 27 se presenta esta información. En las columnas se presentan las cifras que pertenece a la fecha 1970, mientras que la información de las hileras corresponde

Cuadro 26. Distribución del cambio de uso de suelo, entre 1970 (columnas) y 1996 (hileras), para cada clase temática (hectáreas)

| 1970<br>1996 | Sin clase | Matorral espinoso | Pasto | Bosque | Vegetación de galería | Matorral subinerme | Agricultura | Asociación Matorral-pasto | Mezquital | Area urbana |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sin clase | 9276.9 | | | | | | | | | |
| Matorral espinoso | | 2411 3 | | | | | | | | |
| Pasto | | | 632.3 | | | | | | | |
| Vegetación de galería | | | | | 646.5 | | | | | |
| Matorral subinerme | | | | | | 7794.9 | | | | |
| Agricultura | | 3097.5 | 626.2 | 68.3 | | 2333.4 | 30498.5 | 452 3 | 1515.1 | |
| Asociación Matorral-pasto | | | | | | | | 1560.0 | | |
| Mezquital | | | | | | | | | 1713 6 | |
| Suelo desnudo | | 212.0 | 80.7 | 14.7 | 226.0 | 2160.6 | | 684 4 | 177 7 | |
| Área urbana | | | 4.2 | | 8 8 | 193 9 | 98 5 | 15.3 | 0.1 | 705 9 |

Cuadro 27. Distribución porcentual del cambio de uso de suelo, entre 1970 (columnas) y 1996 (hileras), para cada clase temática.

| 1970<br>1996 | Sin clase | Matorral espinoso | Pasto | Bosque | Vegetación de galería | Matorral subinerme | Agricultura | Asociación Matorral-pasto | Mezquital | Area urbana |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Sin clase | 100.0 | | | | | | | | | |
| Matorral espinoso | | 42.1 | | | | | | | | |
| Pasto | | | 47.1 | | | | | | | |
| Vegetación de galería | | | | | 73.4 | | | | | |
| Matorral subinerme | | | | | | 62.4 | | | | |
| Agricultura | | 54.1 | 46.6 | 82.3 | | 18.7 | 99 7 | 16.7 | 44 5 | |
| Asociación Matorral-pasto | | | | | | | | 57 5 | | |
| Mezquital | | | | | | | | | 50.3 | |
| Suelo desnudo | | 3.7 | 6.0 | 17.7 | 25.6 | 17.3 | | 25 2 | 5.2 | |
| Área urbana | | | 0.3 | | 1.0 | 1.6 | 0 3 | 0.6 | 0.1 | 100.0 |

a 1996. En Cuadro 26 la información se consigna en hectáreas mientras que en el Cuadro 27 la información se presenta en porcentaje respecto al total del grupo de 1970. La información contenida en la diagonal principal de los dos cuadros significa la superficie que no sufrió cambio entre 1970 y 1996.

En el periodo de 1970 a 1996, aproximadamente 3097.5 ha de matorral espinoso fueron destruidas para ser incorporadas a los procesos agrícolas. Mientras que, 212.0 ha algo así como el 3.7% se detectó como suelo desnudo. Es decir, poco mas de la mitad del la superficie clasificada como matorral espinoso cambio de uso de suelo.

La clase Pastos tuvo cambios muy marcados para la fecha de 1996. En primer termino 626.2 ha se dedicaron a la agricultura, 80.7 se clasificaron como Suelo Desnudo y 4.2 se utilizaron para expandir las áreas urbanas.

Los Bosques detectados en 1970 no fueron detectados en la clasificación de 1996, estimando que 68.3 ha de estos se dedicaron a la agricultura y 17.7 ha se detectaron como suelo desnudo. Mientras que, de la Vegetación asociada a los ríos se deforestaron 234.8 ha de las cuales 226.0 ha se detectaron en 1996 como suelo desnudo y 8.8 ha se dedicaron a la clase áreas urbanas.

De la superficie correspondiente al matorral Subinerme, 2,333.4 ha se desmontaron para ser usadas en la agricultura y además fue la clase temática más propensa a disminuir su cubierta vegetal, pues de 1970 a 1996 2160.6 ha se clasificaron como suelo desnudo.

La asociación Matorral – Pasto contribuyó con 452.3 ha al área agrícola y 684.4 ha sufrieron disturbios en su composición vegetal de tal manera que se clasificaron como suelo desnudo. De esta asociación de vegetación se dedicaron 452.3 ha a la agricultura.

Por último la clase Mezquital también presentó alteraciones en su distribución superficial. El 44.5% de la superficie con mezquite en 1970, pasó a formar parte del proceso de producción agrícola y 177.7 se consideraron como suelo desnudo.

También se observa que una parte del área clasificada como agrícola en 1970 (98.5 ha), se incorporó en 1996 como área urbana.

La clase agricultura presentó un aumento considerable en su superficie de 1970 a 1996. Este aumento se debió a que todos los tipos de vegetación, excepto la vegetación asociada a los ríos, fueron desplazados por esta clase. Por su parte, el aumento en la superficie de los dos centros más importantes del área de estudio afectó en forma directa a los tipos de vegetación contiguos a General Teran y Montemorelos.

**4.3.7. Crecimiento de las áreas urbanas**. En el Cuadro 28 se observa el área estimada (ha), para las ciudades de Montemorelos y General Terán. Se observa que en 26 años la ciudad de Montemorelos ha crecido en un 46.35% mientras que General Terán tuvo un crecimiento relativo menor. Estos crecimientos afectaron la vegetación nativa de las áreas cercanas.

Cuadro 28. Superficie estimada (ha ) y crecimiento relativo de 1970 a 1996 para las ciudades de Montemorelos y General Terán.

| Fecha | Montemorelos | Crecimiento % | General Terán | Crecimiento % |
|---|---|---|---|---|
| 1970 | 600.25 | | 105.92 | |
| 1986 | 731.35 | 21.84 | 110.95 | 4.75 |
| 1988 | 795.52 | 32.53 | 112.09 | 5.83 |
| 1996 | 878.45 | 46.35 | 131.58 | 24.23 |

## 5. CONCLUSIONES.

De acuerdo a los objetivos planteados en este trabajo y a la información presentada en el capítulo anterior se concluye que:

La hipótesis de trabajo basada principalmente en el desalojo de las comunidades vegetales naturales por la expansión de la frontera agrícola se cumplió, ya que con la metodología desarrollada fue posible medir los cambios cualitativos y cuantitativos en el uso de suelo en el área de estudio.

La evaluación cuantitativa del cambio de uso de suelo, mediante la estimación de las diferencias del índice de vegetación de diferencias normalizadas (NDVI) entre pares de fechas, hizo posible diferenciar los niveles de vegetación en cada imagen, puesto que las imágenes fueron obtenidas en tres diferentes fechas. Por consecuencia, fue posible, realizando procesos de comparación, obtener las áreas con cambio de uso de suelo. La superficie que cambio de 1986 a 1996 se estimó en 434.3 ha. Además, el uso de la técnica de análisis de componentes principales teniendo como variables los índice NDVI de cada fecha hizo posible reforzar la información generada con anterioridad. El segundo componente se refirió al cambio en NDVI del conjunto total de las tres fechas evaluadas. Con este procedimiento fue posible estimar en 430.0 ha el

cambio , muy similar a la superficie obtenida con el método de las diferencias entre NDVI.

Con la información anterior se concluye que la primer hipótesis planteada, se considera aceptada y su objetivo asociado a esta, se considera cumplido.

Por otra parte se logró clasificar cerca del 87% de la superficie total, usando el método de del Conjunto Básico de Máxima Probabilidad (CBMP) y por consecuencia fue posible comparar los usos de suelo entre 1970 y 1996. Este análisis cualitativo del uso de suelo permitió determinar que tipo de clase temática y cantidad de cambio de uso de suelo ocurrió. Se estimó que la superficie agrícola, en el área de estudio, creció de 30,597 ha en 1970 a 38,598.3 ha en 1996. Este crecimiento se dio sacrificando superficies que en 1970 estaban cubierta por matorral, pasto, bosque y asociación matorral – pasto.

Con los datos anteriores se concluye que fue posible evaluar la superficie del crecimiento de la frontera agrícola y urbana, y además, fue viable determinar que esos crecimientos fueron en detrimento de la superficie de las comunidades vegetales naturales. Por consecuencia, se considera que el segundo objetivo planteado para este trabajo se cumplió.

Dada la información y conclusiones anteriores se plantea como de vital importancia y en forma inmediata implementar programas de control de los efectos del cambio de uso de suelo sobre el ecosistema, así como desarrollar y ejecutar proyectos de investigación encaminados a evaluar el impacto de estos cambios en los uso de suelo detectados en este trabajo.

## 6. LITERATURA CITADA.


Chuvieco E. 1996. Fundamentos de teledetección espacial. Tercera edición. Ediciones RIALPSA. Madrid España.

Correa-R., J. B 1996. Evaluación y cuantificación de los cambios del uso de suelo mediante imágenes de satélite en los municipios de Linares y Hualahuises N. L., Facultad de Ciencias Forestales. U. A. N. L., México. Tesis Profesional. 47 p.

Davis, J. C, 1986. Statistics and data analysis in geology. Second Edition. Ed. Wiley.

De La Torre J. C., S. Guardado y B. J. Sasser. 1983. Monitoreo del proceso de desertificación en México a través del procesamiento digital de datos Landsat. Ciencia-Forestal. 8(44): 3-23.

Dept. of Defense. 1994. World geodetic System (WGS). Defense Mapping Agency, Departament of Defense, USA. MIL-STD-2401. //164.214 2.59/ y //arc_www.belvoir.army.mi/

Deusen, P.C. van. 1994. Correcting bias in change estimates from thematic maps. Remote-Sensing-of-Environment. 50(1): 67-73.

Dwivedi, R. S. and B. R. M. Rao. 1992. The selection of the best possible Landsat TM band combination for delineating salt-affected soils. Int. J. Remote Sensing. 13(11): 2051-2058.

Eastman, J. R. 1992. IDRISI, User's Guide, Version 4.0. Ed. Clark University. Mass, Wo. USA. p 178.

Eastman, J. R. 1997. Idrisi for Windows. User's guide. Version 2.0. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis. Clark University. Worcwester, MA. USA. pp 14.1 - 14.5.

Eastman, J. R., J. E. McKendry and M. A. Fulk. 1995. Change and time series analysis. United Nations Institute for Training and Research. Explorations in Geographic Information Systems Technology. Vol 1. Second edition. pp. 119.

ESRI. 1991. Map Projections & Coordinate Management. Concepts and procedures. ARC/INFO User's guide. Environmental Systems Research Institute, Inc.

Everitt, J. H. and P. R. Nixon. 1985. Video Imagery: A new remote sensing tool for range management. J. Range Management. 38(5): 421-424.

Everitt, J. H., D. E. Escobar M. A. Alaniz and M R. Davis. 1987 Using airborne midle-infrared (1.45-2.0 μm) video imagery for distinguishing plant species and soil conditions. Remote Sens. Environ. 22:423-428.

Everitt J. H., D. E. Escobar, A. H. Gerbermann and M. A. Alaniz. 1988. Detecting saline soils with video imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 54(9). 1283-1287.

Everitt J. H., D. E. Escobar and M. R. Davis. 1989. Mid-infrared video: A possible tool for thermal analysis of wildfires. Geocarto International. 4: 39-45.

Everitt J. H., D. E. Escobar, K. R. Summy and M. R. Davis. 1991. Airbone video systems for agricultural assessment. Remote Sens Environ. 35.231-242

Everitt J. H., D. E. Escobar, K. R. Summy and M. R. Davis. 1994. Using airborne video, global positioning system, and geographical information system technologies for detecting and mapping citrus blackfly infestations. Southwestern Entomologist. 19(2): 129- 138.

Ferarnside P. M., 1993. Deforestation in Brazilian Amazonia: The effect of population and land tenure. Ambio. 22(8): 537-545

Hickman M. V., J. H. Everitt, D. E. Escobar and A. J. Richardson. 1991. Aerial photography and videography for detecting and mapping Dicamba injury patterns. Weed Technology 5(4): 700-706.

Hoffer R. M., 1978. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: Remote Sensing: the Quantitative Approach. Ed. by P. H. Swain and S. M. Davis. McGraw-Hill pp 227-289.

Huete, A. R. 1987. Spectral signatures and vegetation indices, en II Reunión Nacional del Grupo de Trabajo en Teledetección, Valencia, España. pp 13-26.

Huete, A. , Justice C. and Liu H. 1994. Development of vegetation indices for MODIS-EOS. Remote Sensing of Environment. 49: 224-234.

IERS. 1998. Description of the ITFR92 solution. International Earth Rotation service. //hpiers.obspm.fr/

INEGI. 1995. La nueva red geodésica nacional: Una visión hacia el futuro. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Ags., México. Pp. 30.

INEGI 1996. TRANSINV: Programa de transformación de coordenadas ITRF92 A NAD27 (Versión 2.0). Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Ags, México. Pp 11.

Landgrebe D. A. 1978. The quantitative approach: concept and rationale. In: Remote Sensing: the Quantitative Approach Ed. by P. H. Swain and S. M. Davis. McGraw-Hill. pp 1-20.

Nyman, L. 1996.FAQ-Geographic Information Systems (GIS).

ftp.//ftp.census.gov/pub/geo/gis-faq.

Phillips, Terry L. and P. H. Swain. 1978. Data-Processing methods and systems. In: Remote Sensing: the Quantitative Approach. Ed. by P. H Swain and S. M Davis. McGraw-Hill. pp 227-289.

Price, K. P., D. A. Pike and L. Mendes. 1992. Shrub dieback in a semiarid ecosystem: The integration of remote sensing and geographic information systems for detecting vegetation change. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 58(4): 455-463.

Reynolds, J. E., 1993. Urban land conversion in Florida: Will agriculture survive?. Soil Crop Sci. Soc. florida Proc. 52:6-9.

Richards, J. A. 1993. Remote sensing digital image analysis, an introduction. Springer-Verlag ed. P 340.

Silva, L. F. 1978. Radiation and instrumentation in remote sensing. In: Remote Sensing: the Quantitative Approach. Ed. by P. H. Swain and S. M. Davis. McGraw-Hill. pp 23-135.

SARH. 1993. Diferentes fuentes estadísticas. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidràulicos. Delegación Nuevo León. Sin publicar.

SARH. 1994. Diferentes fuentes estadísticas. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Delegación Nuevo León. Sin publicar.

SPP. 1981 Síntesis Geográfica del estado de Nuevo León. Secretaría de Programación y Presupuesto México.

Swain, P. H. 1978. Fundamentals of pattern recognition in remote sensing. In: Remote Sensing: the Quantitative Approach. Ed.. by P. H. Swain and S. M. Davis McGraw-Hill. pp 136-187.

Treviño, E., A. Akça, J. Navar, J. Jiménez and O. Aguirre. 1996. Detection of land use change by satellite imagery in the municipality of Linares, Nuevo León, México. Fifth International Conference on Desert Development: The Endless Frontier In Press.

Treviño-Garza, E. J. 1992. Verwendunos von satellitenaufriahmen zur vegetations kartierung am Beispel der region "Sierra Madre Oriental" in Nordost Mexico. Traducción al español. Göttinger Beiträge zur Land und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen. Iteft 68, 1535, ISBN-3-88452-724-X, Göttingen, Germany.

Tucker, C. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Enviroment. 18: 127-150.

USGS. 1999. Map accuracy standards. Fact sheet FS-171-99, november 1999. http://mapping.usgs.gov/mac/isb/pubs/factsheets/fs17199.html

## 7. APÉNDICE

Cuadro 29. Pares de puntos de control y la Raíz del Cuadrado Medio del Error (RMS), obtenidos de la corrección geométrica para la imagen de 1986

| Imagen X | Imagen Y | NAD27 X | NAD27 Y | RMS |
|---|---|---|---|---|
| 654.028 | -540.123 | 396350.0 | 2796610.0 | 0 4741 |
| 731 027 | -58.342 | 400700.0 | 2809837.5 | 0 3316 |
| 1038 060 | -732.778 | 406287.5 | 2789475.0 | 0.3910 |
| 1054 395 | -315.381 | 408600 0 | 2801175.0 | 1.5680 |
| 1239.082 | -781.786 | 411725.0 | 2787175.0 | 0 3093 |
| 1228.747 | -416 063 | 413062.5 | 2797550.0 | 1.1516 |
| 1307.422 | -810.123 | 413525.0 | 2786087 5 | 0.6841 |
| 1187.409 | -132.020 | 413755.0 | 2806225.0 | |
| 1338.759 | -794.120 | 414445.0 | 2786375.0 | 0 7713 |
| 1333.425 | -690.771 | 414800 0 | 2789337.5 | 0.9047 |
| 1364.428 | -775.784 | 415287.5 | 2786755.0 | 1.1825 |
| 1362.821 | -730.333 | 415425.0 | 2788050.0 | 0 7778 |
| 1382 430 | -717 109 | 416050.0 | 2788350 0 | 0 3122 |
| 1411 433 | -757 115 | 416687 5 | 2787100.0 | 0 3509 |
| 1416.797 | -683.437 | 417000.0 | 2788881.5 | |
| 1410.433 | -594.757 | 417387.5 | 2791625.0 | 1 7545 |
| 1351 641 | -31.007 | 418275 0 | 2807800.0 | 0 8051 |
| 1669 192 | -1707 888 | 419600.0 | 2759200.0 | 1.1981 |
| 1480 441 | -290.377 | 420725.0 | 2799955.0 | 0 9064 |
| 1520.668 | -240.555 | 422175.0 | 2801175 0 | 2 8778 |
| 1691.130 | -1089.165 | 423037.5 | 2776525 0 | 1 1191 |
| 1814 215 | -1696.886 | 423775.0 | 2758837.5 | 0 8591 |
| 1789 211 | -1471 834 | 424100.0 | 2765200.0 | 3 0920 |
| 1873 725 | -1845.920 | 424762 4 | 2754400 0 | 1.0114 |
| 1863.223 | -1368.311 | 426625.0 | 2767855.0 | 0.4258 |
| 1884.484 | -1164.176 | 428110 0 | 2773537 5 | 1.3195 |
| 1953.238 | -1413.821 | 428905.0 | 2766190 0 | 1 3557 |
| 1809 714 | -355 081 | 429712.5 | 2796650.0 | 0 6842 |

Continuación Cuadro 29

| Imagen X | Imagen Y | NAD27 X | NAD27 Y | RMS |
|---|---|---|---|---|
| 1847 220 | -445 101 | 430300.0 | 2794950.0 | |
| 2013 498 | -1292.863 | 431195.0 | 2769290.0 | 0 9302 |
| 2029 750 | -1356 308 | 431345.0 | 2767475 0 | 0 7483 |
| 2052 254 | -1303.796 | 432210 0 | 2768825.0 | 0 6415 |
| 225 281 | -1859 423 | 434587 5 | 2752437 5 | |
| 2065.170 | -220 367 | 437487 5 | 2800256 0 | |
| 2481 823 | -1851 421 | 441800.0 | 2750512 5 | |
| 2519.829 | -1884 964 | 442737 5 | 2750400 0 | 0 3793 |
| 2572 558 | -2064 979 | 443400 0 | 2745100 0 | 0 4555 |
| 2756 911 | -2145.992 | 448237.5 | 2742000.0 | 0.5467 |
| 2785.872 | -2184.497 | 448875.0 | 2740775.0 | 0 3693 |
| 2795.582 | -2104.652 | 449487.5 | 2743000.0 | 0 7924 |
| 2840.881 | -2145.488 | 450575 0 | 2741600 0 | 1 1944 |
| 2677 855 | -666.652 | 452687.5 | 2783900 0 | 2.9102 |
| 3027 411 | -1815 413 | 457337 5 | 2750025.0 | 2.2213 |
| 3035 412 | -1300.796 | 459937.5 | 2764637 5 | 3 9064 |
| 2947 599 | -635.096 | 461855 0 | 2782875.0 | |

Cuadro 30 Valores del intercepto ($b_0$) y las pendientes $b_i$ de la ecuación de ajuste cuadratica de la corrección geométrica de la imagen de 1986

| Coeficiente | X | Y |
|---|---|---|
| b0 | 77.8519866466522217 | -101929 7987844944000000 |
| b1 | 0.0372817836495187 | 0.0051791207800989 |
| b2 | -0.0042193878227863 | 0 0363772371401865 |
| b3 | -0 0000000002466395 | -0 0000000005726039 |
| b4 | -0.0000000008693173 | 0 0000000002980312 |
| b5 | -0.0000000001787706 | -0.0000000003371531 |

Cuadro 31 Pares de puntos de control y la Raíz del Cuadrado Medio del Error (RMS), obtenidos de la corrección geométrica para la imagen de 1988

| Imagen X | Imagen Y | NAD27 X | NAD27 Y | RMS |
|---|---|---|---|---|
| 1098 066 | -775.7842 | 407950 | 2787875 | 5 2478 |
| 1086 399 | -255 7054 | 409795 | 2802687.5 | 1.239199 |
| 1263 418 | -815.1235 | 412300 | 2786150 | 0.986791 |
| 1287 087 | -725.109 | 413362 5 | 2788575 | 0.862791 |
| 1299 755 | -715 4417 | 413750 | 2788800 | 1 212521 |
| 1313 09 | -705.4402 | 414150 | 2788987.5 | 0 857746 |
| 1342 093 | -745 7797 | 414787 5 | 2787750 | 1.227945 |
| 1343.093 | -664.1006 | 415200 | 2790000 | 0 569977 |
| 1352 427 | -677.1026 | 415387 5 | 2789625 | 0 811557 |
| 1374 322 | -769 8375 | 415600 | 2786950 | 1 811342 |
| 1391.431 | -771 1168 | 416075 | 2786800 | 0.516969 |
| 1396.432 | -604.0916 | 416937.5 | 2791425 | 1.671979 |
| 1451 5 | -902.5 | 417165 | 2782850 | 1.226941 |
| 1430 102 | -648 0982 | 417695 | 2790075 | 0 539967 |
| 1363.428 | -47.0071 | 418512.5 | 2807300 | 0.553396 |
| 1479.774 | -320.3819 | 420550 | 2799125 | 1.875268 |
| 1476.774 | -145.022 | 421262.5 | 2804025 | 0 291659 |
| 1603 681 | -605.6376 | 422760 | 2790425 | 2.180732 |
| 1721 467 | -1271 859 | 423087 5 | 2771237 5 | 1.08824 |
| 1645.188 | -582.1323 | 424045 | 2790987.5 | 0.9632 |
| 1734.802 | -1121.17 | 424125 | 2775175 | 7 46898 |
| 1773 806 | -1202 516 | 424825 | 2772900 | 1.733393 |
| 1954 079 | -1660 292 | 424862 5 | 2759275 | |
| 1789 141 | -1132.505 | 425805 | 2774825 | 6.770282 |

Continuación Cuadro 31.

| Imagen x | Imagen Y | NAD27 | NAD27 | RMS |
|---|---|---|---|---|
| 1757 706 | -517 1176 | 425975 | 2791687 5 | |
| 1829 718 | -1176 267 | 426545 | 2773425 | 0 615361 |
| 1905.23 | -1316.299 | 427975 | 2769125 | 2.50562 |
| 1916 154 | -1272.859 | 428500 | 2770325 | 1 813622 |
| 1795 712 | -369.0839 | 429237.5 | 2796262 5 | 0.645618 |
| 1831 218 | -431.5981 | 429950 | 2794425 | 2.464602 |
| 1822.717 | -292.5665 | 430337 5 | 2798325 | 0.787155 |
| 1881 151 | -357.3875 | 431200 | 2795545 | |
| 2140 768 | -1866.924 | 432162 5 | 2752637.5 | 1 895395 |
| 2068.256 | -1326.301 | 432562 5 | 2768125 | 0 583351 |
| 1957.826 | -178.3604 | 434700 | 2800825 | 3 507493 |
| 2101.261 | -339.5772 | 438965 | 2795775 | |
| 2199.277 | -102.0232 | 441800 | 2801975 | 0 914387 |
| 2563 836 | -2095 476 | 443050 | 2744300 | 1.039881 |
| 2621.345 | -2138.986 | 443437 5 | 2742800 | |
| 2590.841 | -2149.489 | 443537.5 | 2742645 | 0.62134 |
| 2604 843 | -2088 975 | 444200 | 2744300 | 1 146359 |
| 2621 345 | -1854.922 | 445712.5 | 2750800 | 1.241825 |
| 2338 8 | -48.511 | 445950 | 2802800 | 0.940166 |
| 2667.853 | -1943.942 | 446710 | 2748075 | 2.253126 |
| 2367 304 | -39 509 | 446787.5 | 2802925 | 0 976456 |
| 2693 357 | -1946 943 | 447350 | 2747887.5 | 0.608662 |
| 2699 358 | -1844 919 | 448000 | 2750737 5 | 1.169544 |
| 2764 368 | -2170.493 | 448356 | 2741200 | 2.587143 |

Continuación Cuadro 31.

| Imagen X | Imagen Y | NAD27 | NAD27 | RMS |
|---|---|---|---|---|
| 2557 335 | -744 1691 | 448962 5 | 2782300 | 0.596321 |
| 2595.841 | -720.6638 | 450187 5 | 2782775 | 1.086095 |
| 2840 881 | -1870 955 | 451825 | 2749275 | 2 60183 |
| 2721 574 | -706.4404 | 453737 5 | 2782587 5 | 1.128421 |
| 2865 257 | -517 0784 | 458750 | 2787300 | 2 585291 |
| 2926.947 | -507.5577 | 460387.5 | 2787275 | 2.879817 |

Cuadro 32 Valores del intercepto ($b_0$) y las pendientes $b_i$ de la ecuación de ajuste cuadratica de la corrección geométrica de la imagen de 1988.

| Coeficiente | X | Y |
|---|---|---|
| b0 | 144.504298 | -99186.42668 |
| b1 | 0.042327856 | 0 001319670 |
| b2 | -0 005100216 | 0 034966612 |
| b3 | -3.20339E-09 | 3 75015E-11 |
| b4 | -1.74755E-09 | 1 51264E-09 |
| b5 | 5 52889E-11 | -1 72368E-10 |

Cuadro 33. Pares de puntos de control y la Raíz del Cuadrado Medio del Error (RMS), obtenidos de la corrección geométrica para la imagen de 1996.

| Imagen X | Imagen Y | NAD27 X | NAD27 Y | RMS |
|---|---|---|---|---|
| 62492 8 | 115201.5 | 444600 0 | 2748700 0 | 15 6057 |
| 65528.5 | 117738 4 | 448000 0 | 2750750 0 | 7 7012 |
| 65357.5 | 114830.9 | 447350 0 | 2747887 5 | 12 7329 |
| 64630.6 | 114916.4 | 446700.0 | 2748075.0 | |
| 58160.3 | 114845.2 | 440700 0 | 2749112.5 | |
| 62820.6 | 110797.4 | 444200 0 | 2744300 0 | 1 0037 |
| 65884.8 | 105566.8 | 446395.0 | 2738675.0 | |
| 68236 4 | 106977 8 | 448900.0 | 2739675 0 | |
| 67609 3 | 107790.1 | 448450.0 | 2740587 5 | 3 4566 |
| 71343.3 | 106179.6 | 451850.0 | 2738365.0 | |
| 71044.0 | 107619.1 | 451760.0 | 2739875.0 | |
| 59742.2 | 104868.4 | 440190 0 | 2738910.0 | 2.0083 |
| 58516.6 | 107205.8 | 439400 0 | 2741450.0 | |
| 56849.1 | 114488.8 | 438900.0 | 2748900 0 | |
| 52488 0 | 117382 1 | 435050.0 | 2752450.0 | |
| 54768.3 | 117766.9 | 437350.0 | 2752425 0 | |
| 51290.9 | 124836.2 | 435087.5 | 2759925.0 | |
| 49621.8 | 117147 7 | 432175.0 | 2752637.5 | 6 3353 |
| 44307 5 | 122997.6 | 427880.0 | 2759287.5 | |
| 43780.1 | 123610.5 | 427450.0 | 2759900 0 | |
| 40687.5 | 126988.3 | 424962.5 | 2763775.0 | |
| 39447.6 | 121501.1 | 422815 0 | 2758530.0 | 6.3909 |
| 43381.1 | 132903.1 | 428450.0 | 2769125.0 | |
| 47913 2 | 132076 5 | 432987.5 | 2767437 5 | |
| 53328.9 | 158044 6 | 442312 5 | 2792425.0 | 16 2603 |
| 28843.4 | 148739.0 | 416675.0 | 2787175 0 | |
| 27769.9 | 148387.4 | 415595 0 | 2786925 0 | 11.8782 |
| 26952.8 | 147351 8 | 414615.0 | 2786050.0 | 11.5118 |
| 25869.7 | 147237.8 | 413530.0 | 2786100.0 | 2 8613 |
| 30344 6 | 152615 4 | 418800.0 | 2790775 0 | |
| 28795 9 | 153366.0 | 417365.0 | 2791650 0 | |

Continuacion Cuadro 33.

| Imagen X | Imagen Y | NAD27 X | NAD27 Y | RMS |
|---|---|---|---|---|
| 31731.7 | 154325.6 | 420425.0 | 2792165.0 | 4 5452 |
| 25280 6 | 149689 1 | 413360.0 | 2788600 0 | |
| 27142.8 | 151028.7 | 415395 0 | 2789625.0 | 16.8977 |
| 38050.9 | 138376.1 | 424150 0 | 2775375.0 | |
| 37096.0 | 137264.4 | 423050 0 | 2774465.0 | |
| 39604 3 | 138076.8 | 425612.5 | 2774825.0 | |
| 40758 7 | 136808.3 | 426540 0 | 2773425.0 | |
| 42112 7 | 130808 0 | 426937.5 | 2767300 0 | 13.8471 |
| 29618.6 | 128427 8 | 424100 0 | 2765415 0 | |
| 36454.7 | 133017.1 | 421700.0 | 2770350 0 | |
| 33262.2 | 129610.8 | 418050.0 | 2767480.0 | |
| 52473.8 | 168035.7 | 443065.0 | 2802375 0 | |
| 45789.6 | 167137 7 | 436300.0 | 2802565.0 | 4 8542 |
| 44193.4 | 169161.6 | 435012 5 | 2804865 0 | |
| 44221.9 | 167850.4 | 434875 0 | 2803500 0 | 15.1067 |
| 56093.8 | 169175.9 | 446787 5 | 2802930 0 | 4.8336 |
| 43018.7 | 158040.6 | 432100.0 | 2794037.5 | |
| 42144.6 | 157727.0 | 431237.5 | 2793837.5 | |
| 41394.0 | 157423 0 | 430495.0 | 2793675.0 | |
| 41859.6 | 159370 7 | 431212 5 | 2795550 0 | 16.4000 |
| 42724 2 | 159532 3 | 432095.0 | 2795545.0 | 11.9628 |
| 42240.9 | 160182.5 | 431675.0 | 2796262.5 | |
| 40558 0 | 161983.5 | 430337.5 | 2798337.5 | |
| 30971.6 | 161014 4 | 420737.5 | 2798925 0 | |
| 30705.6 | 166183 0 | 421462 5 | 2804025 0 | |
| 30810.1 | 162031.0 | 420725 0 | 2799950 0 | |
| 35532.0 | 166696.1 | 426075 0 | 2803700.0 | |
| 34144.9 | 163636.8 | 424265.0 | 2800950 0 | 10.0302 |
| 32871.8 | 164653.4 | 423165.0 | 2802175.0 | 13 3275 |
| 39617.4 | 159019.2 | 428975 0 | 2795525.0 | |
| 19566.2 | 163033 0 | 409795 0 | 2802687 5 | 8.2101 |
| 17499.7 | 164216.0 | 407950 0 | 2804175.0 | 3.5330 |

Cuadro 34. Valores del intercepto ($b_0$) y las pendientes $b_i$ de la ecuación de ajuste cuadrática de la corrección geométrica para la imagen de 1996.

| Coeficiente | X | Y |
|---|---|---|
| b0 | 478635.911 | -2199656.03 |
| b1 | 0.87553564 | -0.04902478 |
| b2 | -0.44316257 | 0.68102721 |
| b3 | -1.7323E-08 | -1 3105E-08 |
| b4 | 4 568E-08 | 7.8353E-08 |
| b5 | 4.7692E-08 | 4.9177E-08 |

Cuadro 35. Mínimo, máximo y desviación estándar para las bandas de la imagen de 1986.

| | Banda 1 | Banda 2 | Banda 3 | Banda 4 | Banda 5 | Banda 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mínimo | 65 | 21 | 18 | 8 | 4 | 1 |
| Máximo | 171 | 86 | 123 | 115 | 212 | 255 |
| Desviación Estándar | 6.852 | 4.549 | 8.352 | 7.914 | 19.210 | 13.474 |

Cuadro 36. Mínimo, máximo y desviación estándar para las bandas de la imagen de 1988.

| | Banda 1 | Banda 2 | Banda 3 | Banda 4 | Banda 5 | Banda 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mínimo | 57 | 18 | 15 | 6 | 3 | 0 |
| Máximo | 255 | 152 | 205 | 177 | 255 | 255 |
| Desviación Estándar | 10.782 | 6.238 | 11.195 | 11.286 | 22.940 | 16.605 |

Cuadro 37. Mínimo, máximo y desviación estándar para las bandas de la imagen de 1996.

| | Banda 1 | Banda 2 | Banda 3 | Banda 4 | Banda 5 | Banda 7 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mínimo | 46 | 15 | 10 | 6 | 1 | 0 |
| Máximo | 197 | 104 | 131 | 131 | 226 | 164 |
| Desviación Estándar | 6.736 | 4.677 | 7.609 | 11.846 | 18.782 | 13.036 |

Cuadro 38 Correlación de las bandas transformadas, por el Análisis de Componentes Principales (PCA) con los cuatro primeros componentes. Se excluyo la banda 6 (infrarrojo termica) Imagen de 1986.

| | C 1 | C 2 | C 3 | C 4 | C 5 | C 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| % Varianza | 86.18 | 94.94 | 98.14 | 99.04 | 99 89 | 100.00 |
| Banda 1 | 0.814 | 0.226 | 0 458 | 0 268 | -0 033 | -0.011 |
| Banda 2 | 0.854 | 0.337 | 0.317 | -0.150 | -0.021 | 0 179 |
| Banda 3 | 0 917 | 0 199 | 0.278 | -0 202 | -0 046 | -0 049 |
| Banda 4 | 0.336 | 0 912 | -0.208 | 0 020 | 0.093 | -0 007 |
| Banda 5 | 0.991 | -0.366 | -0.106 | 0.145 | -0.065 | 0.001 |
| Banda 7 | 0.971 | -0.184 | 0.140 | -0.002 | 0.150 | -0 000 |

Cuadro -39. Correlación de las bandas transformadas, por el Análisis de Componentes Principales (PCA), con los cuatro primeros componentes. Se excluyo la banda 6 (infrarrojo térmica) Imagen de 1988.

| | C 1 | C 2 | C 3 | C 4 | C 5 | C 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| % Varianza | 81.86 | 93.34 | 98.73 | 99.53 | 99.89 | 100 00 |
| Banda 1 | 0.848 | 0.178 | 0 476 | -0 031 | -0.128 | -0.022 |
| Banda 2 | 0.860 | 0 282 | 0.389 | -0.027 | 0 036 | 0 165 |
| Banda 3 | 0.927 | 0.133 | 0.327 | -0.042 | 0.138 | -0 032 |
| Banda 4 | -0 055 | 0.984 | -0.153 | 0.067 | -0.000 | -0 006 |
| Banda 5 | 0.982 | 0.011 | -0.179 | -0.063 | -0.009 | 0 000 |
| Banda 7 | 0.976 | -0.150 | -0.020 | 0.156 | -0.000 | 0.000 |

Cuadro 40. Correlación de las bandas transformadas, por el Análisis de Componentes Principales (PCA), con los cuatro primeros componentes. Se excluyo la banda 6 (infrarrojo térmica) Imagen de 1996.

| | C 1 | C 2 | C 3 | C 4 | C 5 | C 6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| % Varianza | 77.34 | 95.75 | 99.18 | 99 68 | 99.93 | 100.00 |
| Banda 1 | 0.866 | 0.048 | 0.473 | -0.024 | -0.148 | -0 031 |
| Banda 2 | 0 864 | 0.190 | 0 433 | -0.022 | 0 017 | 0 148 |
| Banda 3 | 0.920 | 0.004 | 0 370 | -0.031 | 0.132 | -0 034 |
| Banda 4 | -0 112 | 0 993 | 0 002 | 0.036 | 0 003 | -0 004 |
| Banda 5 | 0 987 | 0.098 | -0.116 | -0 050 | -0 004 | 0.000 |
| Banda 7 | 0.980 | -0.145 | -0.033 | 0 126 | -0.000 | 0.000 |