
LA TELEDETECCIÓN COMO HERRAMIENTA PARA ESTUDIOS MULTITEMPORALES

MARCH, María Alejandra ¹

¹ Departamento de geografía. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Trelew.
mamarch@infovia.com.ar

Resumen

El presente trabajo se desarrolló en el marco de la Carrera de Especialización en Teledetección y Sistemas de Información Geográfica Aplicados al Estudio del Medio Ambiente realizada en la Universidad de Luján. El mismo consiste en el estudio multitemporal de las lagunas de estabilización de la ciudad de Trelew utilizando como herramienta la teledetección y SIG. Esta ciudad, desde hace décadas, vierte sus efluentes cloacales y pluviales en un sistema lagunar que se encuentra ubicado al Este de Trelew.

Originalmente estas lagunas naturales, algunas permanentes y otras temporales, eran receptoras de aguas subterráneas provenientes del Valle Inferior del Río Chubut (VIRCH) y de precipitaciones. Actualmente se vierten diariamente a las lagunas 21000m³/día aproximadamente de efluentes cloacales y pluviales y se han convertido en lagunas de estabilización. El objetivo de este trabajo es determinar la variación multitemporal de las lagunas de estabilización de la ciudad desde el año 1969 al 2005 para analizar las consecuencias producidas en el paisaje. En virtud del problema de investigación planteado y por el valioso aporte de la teledetección se decide realizar un estudio multitemporal, desde una perspectiva multianual. Se trabajó con fotografías aéreas del año 1969 y con imágenes satelitales Landsat de los años 1986 (MSS), 1992, 1998, 1999, 2001 y 2005 (TM). El procesamiento digital tanto de las fotografías aéreas como de imágenes satelitales se realizó con el software ERDAS Imagine 8.3. También se trabajó superponiendo distintas capas de información con el software Arc-View 3.2, en él se incluyeron las siguientes capas: Imagen Aster (2001), Catastro, ejidos de Trelew y Rawson y mapa de suelos.

Palabras claves: Teledetección, cambios ambientales, sistema lagunar

REMOTE SENSING AS A TOOL FOR MULTITEMPORAL STUDIES

Abstract

This work was developed under the course of studies "Specialization in Remote Sensing and Geographic Information Systems Applied to the Study of the Environment" conducted at the Universidad de Luján. It consists in the study of the multi-stabilization ponds in the city of Trelew using remote sensing as a tool. The objective is to determine the variation of the multi-stabilization ponds of the city from the year 1969 to 2005 to analyze the effects produced in the landscape. Trelew is the second largest city in the province of Chubut, taking into account the number of inhabitants; According to data from INDEC (Census 2001) population was 88,397 inhabitants of whom more than 70% have sewer service, while the remaining percentage liquid sewage discharges its subsurface. This city, for decades, has been pouring their sewage effluent and stormwater basins in natural permanent and stationary ponds which today have become major stabilization. Under the research problem posed and the valuable contribution of remote sensing it was decided to conduct a multitemporal study from a multi-year perspective, to study changes in the surface. We have worked with aerial photography in the year 1969 to monitor the environment prior to the discharge of effluents to the gaps and Landsat satellite images for the years 1986, 1992, 1998, 1999, 2001 and 2005. The digital processing of both aerial photographs and satellite images was performed using the software ERDAS IMAGINE 8.3. According to measurements taken it showed a clear trend of growth in the gaps ranging from 127.29 ha in 1969 to 706.66 ha in the year 2001. In the image of 2005 this trend reverses showing a clear decrease in the total area is 641.75 hectares. This pond system is now filled producing permanent flooding of the land surrounding, increasing salinity, the lower the groundwater drainage, etc. To these must be added the growing gap between city hall administration of Rawson and Trelew to search for solutions to this problem that affects the interests of both locations. From the results we can visualize the man as an agent who uses geography and transforms their environment over time causing often irreversible deterioration in the environment.

Key words: Remote sensing, environmental changes, gaps

Introducción

La ciudad de Trelew se encuentra en la Provincia del Chubut, Departamento Rawson, cuenta con una población de 88.397 habitantes según datos del INDEC (Censo Nac. 2001). Aproximadamente el 70% de los líquidos cloacales domiciliarios y pluviales de la ciudad de Trelew, son vertidos desde principios de la década de 1970 a un sistema lagunar. A raíz de los efluentes cloacales y pluviales vertidos, estas cuencas naturales se han convertido en grandes lagunas de estabilización. Originalmente estas lagunas eran algunas permanentes y otras temporarias alimentadas por aguas subterráneas y por precipitaciones.

La teledetección se ha utilizado como herramienta para estimar la transformación que han sufrido las superficies lagunares a través del tiempo y los cambios en el entorno, en este caso en particular se trabajó tanto con fotografías aéreas como con imágenes satelitales con el programa Erdas Imagine 8.3. El procesamiento de las mismas se realizó en el Laboratorio de Teledetección y SIG del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Estación Experimental Chubut, Trelew.

Se realizó un estudio multianual tomando fotografías aéreas del año 1969 y con imágenes satelitales de los años 1986, 1992, 1998, 1999, 2001 y 2005. La corrida de fotografías aéreas del año 1969 a una Escala 1:10400 permitieron realizar una interpretación visual del área de estudio, pudiendo caracterizarla antes del vertido de líquidos en el área.

Las imágenes satelitales fueron solicitadas a las siguientes instituciones: INTA EEA Chubut, Landsat MSS del año 1986 y Landsat TM de los años 1998, 1999, 2001 y 2005; Dirección General de Catastro de la Provincia del Chubut, imagen Landsat TM del año 1992 y al Servicio Geológico y Minero Argentino (SEGEMAR) la imagen Aster del año 2001.

Con respecto a los antecedentes, se encontró un trabajo de 1996 denominado *Funcionamiento y Evolución de las Lagunas de Estabilización de Trelew*, en el cual participaron diversos organismos tales como Municipalidad de Trelew, Centro Nacional Patagónico (CONICET), Ministerio de Salud y Acción Social Dirección de Medio Ambiente de la Provincia del Chubut y Universidad Nacional de la Patagonia. Por otra parte actualmente se está desarrollando en el marco del Convenio Universidad Nacional de la Patagonia-Facultad de Ingeniería y la Municipalidad de Trelew un proyecto denominado *Plan de Manejo y Gestión Integral del sistema de Tratamiento de Efluentes de la Ciudad de Trelew*, el cual va a plantear distintas alternativas de solución ante esta problemática.

El objetivo del trabajo es determinar la variación multitemporal de las lagunas de estabilización de la ciudad de Trelew, desde los años 1969 a 2005 para estimar las consecuencias producidas en el paisaje y su proyección a futuro, utilizando la teledetección como herramienta de medición.

Materiales y Métodos

Ubicación del área de estudio:

La ciudad de Trelew se encuentra en el Valle Inferior del Río Chubut a los 43° 14' de Latitud Sur y 65° 19' de Longitud Oeste, su Ejido Municipal cubre una superficie total de 248 km². (Figura 1)

Las aguas domiciliarias de la ciudad son impulsadas desde la planta de bombeo ubicada en la intersección de las calles Carrasco y Moreno, donde se realiza un tratamiento primario, mediante rejillas y trituradores de sólidos gruesos. Luego por un entubamiento de casi 5 Km. llegan a la denominada Laguna III, que se comunica por un canal de aprox. de 800 mts. con la Laguna IV, unida actualmente a Laguna V.¹ El sistema lagunar en su totalidad está compuesto por las siguientes lagunas:

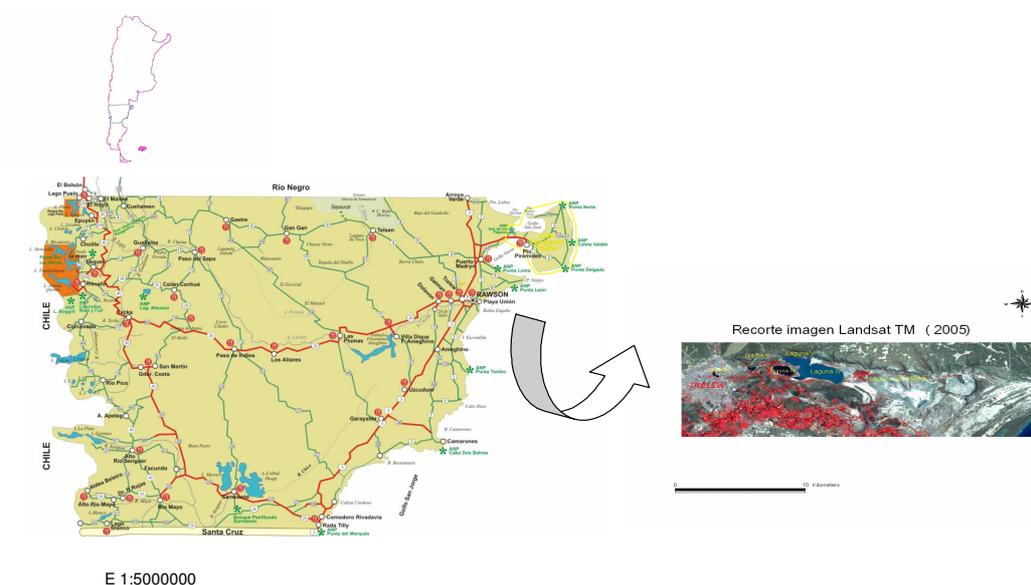
Laguna N°I, Laguna Chiquichano o Laguna de la Terminal
Laguna N°II o Laguna de la Base
Laguna N°III, Laguna del Caño o Laguna del Ornitólogo,
Laguna N°IV
Laguna N°V
Laguna N°VI o El Salitral

Los materiales utilizados para la confección del presente trabajo fueron Fotografías Aéreas
Escala 1:10400 (195a, 196b y 196a) Año 1969

228-90-86	10-02-1986	Landsat MSS
228-90-92	19-01-1992	Landsat TM
228-90-98	16-04-1998	Landsat TM
228-90-99	18-03-1999	Landsat TM
228-90-01	15-09-2001	Landsat TM
228-90-05	30-04-2005	Landsat TM

¹ Serra, Juan. (1999)

Figura 1: Ubicación del Área de Estudio



Fuente: elaboración propia

Metodología

Tanto las fotografías aéreas como las imágenes satelitales fueron corregidas geoméricamente mediante el sistema de proyección Transversa Mercator con los siguientes parámetros: Datum: WGS84; Elipsoide: WGS84; Meridiano Central: 69° 00' 00" W; Factor de Escala del Meridiano Central: 1; Latitud de Origen: 00° 00' 00"; Falso Este 2500000; Falso Norte 10002288299. La corrección se realizó a partir de puntos de control: ...”Se trata de modelar el error geométrico de la imagen a partir de una serie de puntos con coordenadas conocidas que se denominan puntos de control”...²

Se tomó una imagen Aster de referencia para georreferenciar las fotografías aéreas por su resolución espacial mientras que para las imágenes Landsat se tomó otra imagen del mismo satélite ya corregida geoméricamente. La selección de los puntos de control se realizó

² (Chuvienco, 1996:255)

siguiendo los criterios de: a) **cantidad** en tal sentido se identificaron aproximadamente 34 puntos para las fotografías y 20 puntos en cada imagen; b) **distribución**, la misma se realizó en forma uniforme en y c) **localización** es decir puntos perfectamente identificables tomando aquellos que no varíen en el tiempo.

Una vez efectuada la corrección geométrica se realizó el recorte de las imágenes originales utilizando para todas las mismas coordenadas, (43° 13' 23.09" S – 65° 19' 54.66 "W y 43° 17' 14.03" S – 65° 00' 14.35" W). Para la obtención de mapas temáticos se procedió a clasificar las imágenes con el objetivo de reconocer clases o grupos de píxeles con características similares, que representen distintas cubiertas de la superficie mediante la transformación de los ND (valores numéricos) de la imagen en categorías temáticas o clusters.

Debido al estudio multitemporal que se llevó a cabo se parte de una clasificación no supervisada, el mismo no implica el conocimiento previo del área de estudio, es la búsqueda automática de grupos de valores espectrales homogéneos dentro de cada imagen³. Se utilizó el algoritmo ISODATA... "este método usa la fórmula de la mínima distancia espectral para formar clusters. El método empieza con valores medios (promedios) arbitrarios de cada clase o cúmulo o con valores medios de un conjunto de firmas existentes y cada vez que se repite la formación de cúmulos, los valores medios de estos cúmulos se mueven. Los nuevos valores medios de cada clase o cúmulo se usan para la siguiente iteración. Repite el proceso de formación de cúmulos hasta que se cumple el número máximo de interacciones o hasta que se alcanza el porcentaje máximo de píxeles que no cambian de cúmulo entre dos interacciones"...⁴ Se utilizaron como base 50 clases debido a que con menor cantidad no se podían separar o diferenciar las coberturas; suelo desnudo, salitral, agua superficial, etc. Como la separabilidad dada en estas 50 clases no lograba diferenciar o separar las unidades vistas en el terreno fue necesario seleccionar unidades de muestreo en las imágenes (áreas de entrenamiento). Se identificaron estas áreas con la utilización de los puntos tomados en el campo con GPS e interpretación visual lo que permitió realizar una clasificación supervisada. Con este último archivo de 60 clases aproximadamente se fueron reclasificando y reagrupando las categorías existentes en 5 grandes clases (urbana, agua, vegetación natural, área cultivada y suelos desnudos) hasta llegar a un mapa temático.

Mediante la técnica del filtraje se suavizan los contrastes y eliminan valores anómalos aislados con el solo fin de mejorar la visualización de la imagen clasificada. Se aplicó un

³ Ibidem

⁴ ERDAS Field Guide (2001)

filtro de paso bajo (low pass filtering) para destacar el componente de homogeneidad en la imagen acentuando aquellas áreas donde la frecuencia de cambio es baja, con una matriz de filtraje de 3x3. Este está basado en la mediana, que sustituye el valor del píxel central por la mediana de los valores de los píxeles vecinos. Entraña una menor modificación de los datos que la media aritmética.

Un Sistema de Información Geográfico (SIG) nos permite analizar mediante la superposición de capas temáticas un espacio de interés. Una vez realizados los pasos de georreferenciación de la imagen ASTER con el catastro y el mapa de suelos se pudo realizar el SIG. Para el mismo se superpusieron como capas de información el mapa catastral sobre la imagen ASTER, lo que nos permitió visualizar los productores más afectados.

Por otro lado se superpuso la imagen antes mencionada con el mapa de suelos permitiéndonos observar qué tipos de suelos fueron afectados. Por último se superpuso la imagen Aster, el catastro y los ejidos de Trelew y Rawson para estimar la superficie afectada de cada ejido y el lugar de pertenencia de cada productor.

Resultados

De acuerdo a las mediciones realizadas en las fotografías aéreas e imágenes satelitales de los años 1969, 1986, 1992, 1998, 1999, 2001 y 2005, se observa una clara tendencia de crecimiento en las lagunas que va desde 127,29 has en 1969 a 641,75 has en el año 2005. (Ver Tabla 1)

Tabla 1: Evolución superficie total de las lagunas de estabilización año 1969-2005

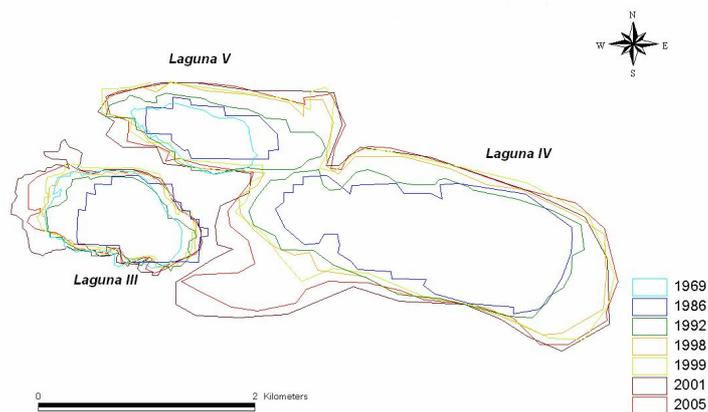
AÑO	1969	1986	1992	1998	1999	2001	2005
Superficie (ha)	127,28	266,88	434,52	523,72	532,72	708,66	641,75

Fuente: elaboración propia

El crecimiento de las lagunas además de ser progresivo, es decir, tiene un crecimiento anual estimado en 14,29has (Figuras 2 y 3) también tiene una variación estacional es decir si tomamos una imagen posterior a las lluvias invernales por ejemplo la del 2001 (Setiembre) se observa un incremento de la superficie que posteriormente en los meses de precipitaciones escasas y por evaporación se revierte, en tal sentido y teniendo en cuenta que todas las

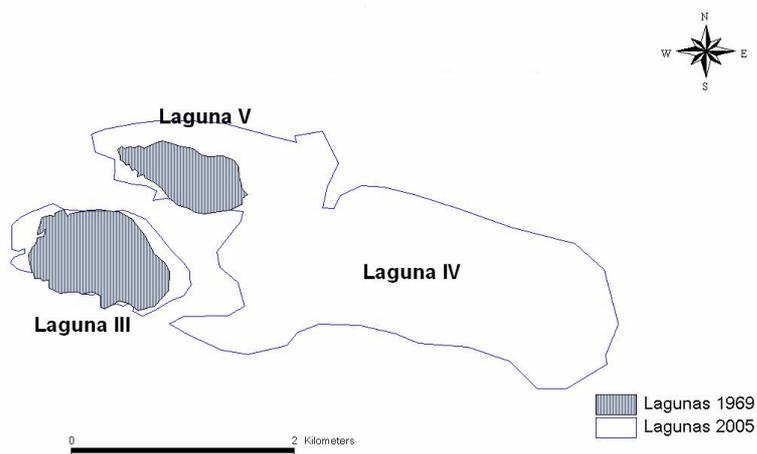
imágenes son de verano y otoño excepto la del año 2001 es que para estimar el crecimiento de las superficies lagunares se desestimó esta imagen. (Figura 4)

Figura 2 Evolución lagunas de Estabilización (1969-2005)



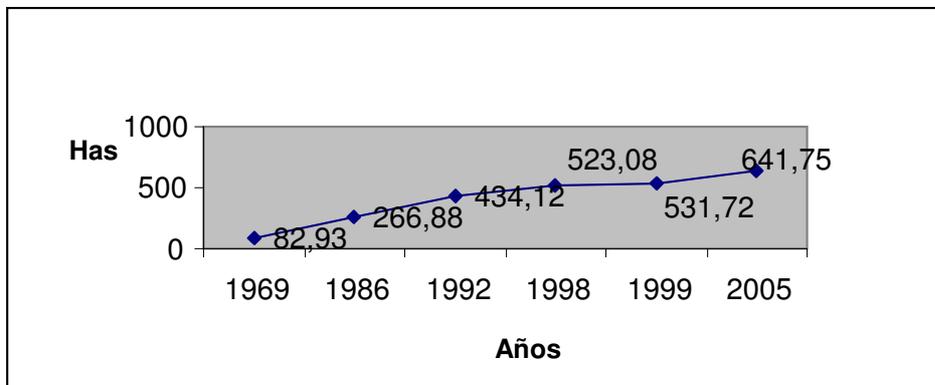
Fuente: elaboración propia

Figura 3 Comparación lagunas de estabilización 1969 y 2005



Fuente: elaboración propia

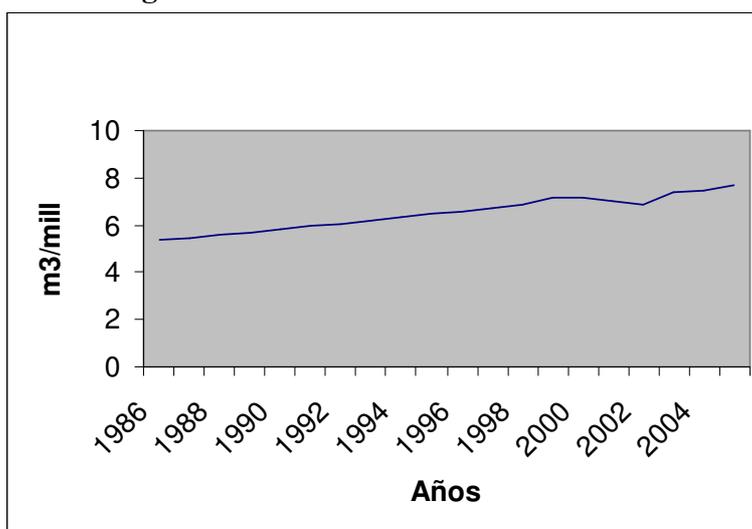
Figura N° 4 Evolución de las lagunas de estabilización (1969-2005)



Fuente: elaboración propia

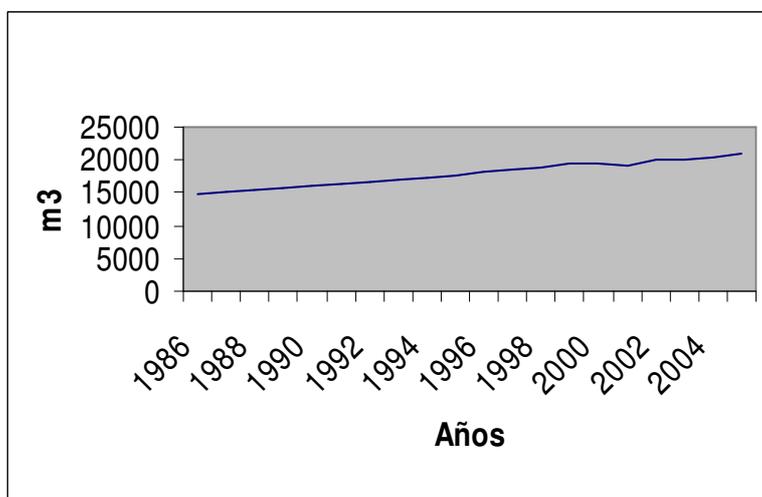
El aumento de la población y consecuentemente, el crecimiento de la red cloacal y pluvial de la ciudad, hacen que los volúmenes de líquidos vertidos a las lagunas aumenten progresivamente, de 5351444,32 m³/año en 1986 a 7667383,13 m³/año en 2005 (Figura N° 5). Un promedio de crecimiento de efluentes de 121891,51m³ por año. Actualmente se vierten a las lagunas 21006,52 m³/día, mientras que en 1986 el caudal del volcado de efluentes era de 14661,49 m³/día. (Figura 6)

Figura N° 5: Volumen total de vertidos



Fuente: elaboración propia

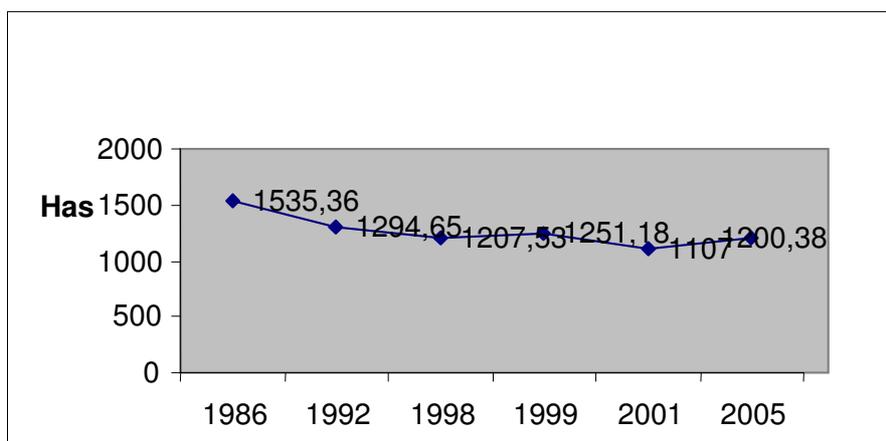
Figura 6: Volumen promedio por día



Fuente: elaboración propia

El área no cultivada constituida por suelos desnudos y vegetación natural fue disminuyendo progresivamente (Figura 7). La superficie de las áreas no cultivadas no disminuyó por que se utilizaron las tierras para cultivos sino que tal disminución se produjo por el aumento de la superficie lagunar.

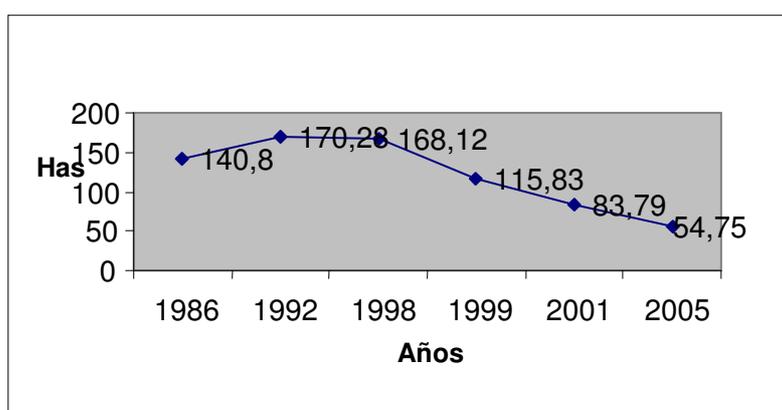
Figura 7: Superficie de áreas no cultivadas



Fuente: elaboración propia

Respecto a las áreas cultivadas, se observa un claro aumento de la superficie hasta el año 1992. Siendo la superficie cultivada de 140.8 has en 1986 y de 170.28 has en 1992. A partir de esta fecha la tendencia es la disminución de la misma hasta el año 2005 donde se observa solo 54.75 has. Actualmente el cultivo está representado por pasturas y en algunos casos frutales. (Figura 8)

Figura 8: Superficie de áreas cultivada



Fuente: elaboración propia

Según el estudio realizado por Laya el área de estudio presenta suelos clases 4 y 6, caracterizados por: Suelos Clase 4: Tierras que tienen excesivas deficiencias o utilidad muy restringida y que con estudios de factibilidad técnico económicos podría demostrarse que en buena parte son regables, pero de escaso valor, además se requiere de muy fuertes inversiones.

- Subclase 4Psd: Comprende suelos muy variables con relieves planos que tienen en común moderados problemas de salinidad y fuertes de sodicidad con predominio de arcillas. Presentan problemas de drenaje que requieren costosas soluciones por lo que solo se limita su uso a pasturas.

- Subclase 4Pstd: Incluye las tierras que ocupan partes bajas de relieve ondulado, así como hasta un relieve de tipo complejo, por lo que se requieren prácticas costosas de emparejamiento, el que a su vez está limitado por la presencia de grava gruesa. Desde el punto de vista de la salinidad y sodicidad, se presentan características muy contrastantes,

siendo una limitante común la presencia de la capa freática cercana a la superficie, por lo que el drenaje se encuentra bastante restringido. Los cultivos se ven limitados a pasturas.

Suelos Clase 6: Agrupa a los suelos considerados no arables debido a que no reúnen las mínimas condiciones para ser incluidas en las clases anteriores.

- Subclase 6 sd: Comprende las tierras que ocupan un relieve plano o suave ondulado con muy fuertes limitantes por salinidad y sodicidad, agravados por la presencia de la napa freática cercana a la superficie o sectores, con texturas contrastantes, desde livianas hasta pesadas.

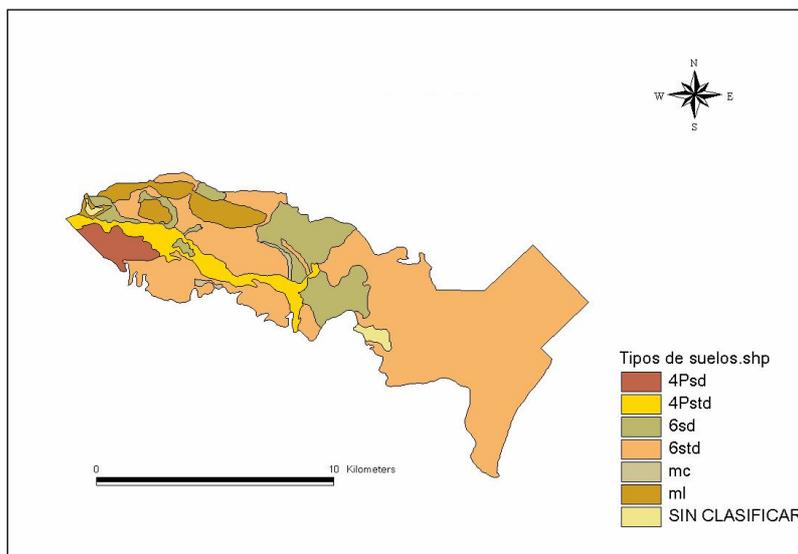
- Subclase 6 std: Aquí están circunscriptos los suelos que poseen muy fuertes limitantes por salinidad y sodicidad, texturas predominantes arcillosas, presencia de la capa freática cercana a la superficie y con relieves muy complejos. Estos suelos, cuyas limitantes están agravadas se los considera dentro de suelos no arables.⁵

Según se pudo calcular a partir de la superposición de capas temáticas el 60,83% de los suelos de la zona de estudio son clase 6, es decir son suelos con una limitante importante debido a la salinidad y sodicidad. El 39,17% restante pertenecen a suelos clase 4, con características de salinidad, sodicidad y además terrenos bajos con graves problemas de drenaje. (Figura 9)

Como se mencionó oportunamente la superficie total del ejido de la ciudad de Trelew es de 248 Km² es decir 24800 has, de las cuales la laguna III ocupa 108,09 has. , parte de la IV y la V ocupan una superficie de 449.28 has., o sea que 557,37 has del ejido total de Trelew están cubiertas por las lagunas. El ejido total de Rawson es de 132,24 Km² es decir 13224,80 has. Aproximadamente 114 has están cubiertas por la Laguna IV (unida a la Laguna V).

⁵ Laya, H (1981)

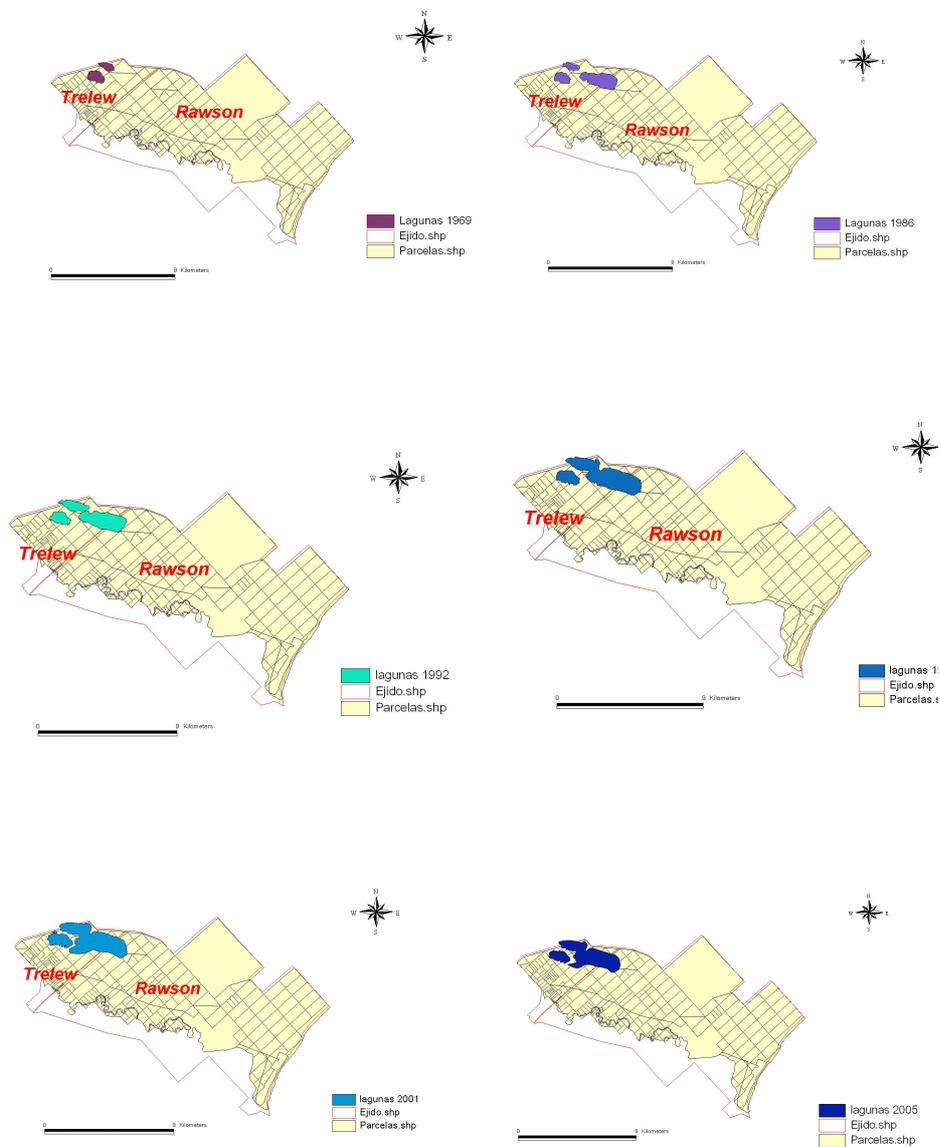
Figura 9: Tipos de Suelos



Fuente: INTA E.E. CHUBUT Trelew

En base al mapa parcelario, de las 294 chacras de la zona de estudio, 169 pertenecen al ejido de Rawson, perteneciendo las restantes a Trelew. Respecto de los propietarios según la base de datos suministrada por la Dirección de Catastro de la Provincia; 5 chacras pertenecen a la Municipalidad de Trelew, 6 a la Municipalidad de Rawson, 36 sin datos, 1 al Estado Argentino y las restantes son de propiedad privada. Superponiendo la imagen satelital con el catastro y mediante observación directa podemos distinguir las parcelas **más afectadas**, aproximadamente 92, de las cuales 5 pertenecen a la Municipalidad de Trelew, 5 a la de Rawson, 5 sin datos y las restantes son de propiedad privada. Encontrándose 69 dentro del ejido de Trelew y 23 dentro del ejido de Rawson. (Figura 10).

Figura 10: Mapas comparativos superficie lagunar -parcelas afectadas- ejidos



Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Es evidente que el sistema ha sido transformado, en este caso el ambiente lagunar ha variado con el transcurrir del tiempo y la acción antrópica ha sido fundamental en esta

transformación. Los bajos, hoy convertidos en lagunas permanentes motivo del presente trabajo, hidrológicamente representaban áreas de descarga -evaporación- alimentadas por los aportes de cañadones que drenan desde la terraza intermedia y el valle o bien por crecientes y desbordes del Río Chubut. Hoy el proceso se ha revertido, y las lagunas aportan agua en forma constante al sistema freático, habiéndose convertido entonces, en áreas de recarga – infiltración. El caudal del volcado de efluentes cloacales y la alteración hidrológica por la creciente impermeabilización de suelos y de drenaje, produce una progresiva y severa degradación del paisaje lagunar, genera nuevas áreas de inundación permanentes, mayor frecuencia de inundaciones en zonas bajas circundantes a las lagunas y la afectación severa de los suelos.

Según las cifras aportadas por el trabajo y haciendo una proyección si las condiciones de infraestructura y crecimiento poblacional se mantienen como en la actualidad, se puede estimar que para el año 2016 se verterán a las lagunas 24679,86 m³/día, es decir, un volumen total de 9008148,9 m³/año. Por consiguiente, un crecimiento de vertidos de aproximadamente 333.94 m³/año y como consecuencia se podría concluir que para ese mismo año la superficie de las lagunas en su totalidad sería de 798, 94 has. El cambio en el paisaje lagunar no solo ha afectado al ejido de la ciudad de Trelew sino también al de Rawson; ciudad capital que se encuentra aproximadamente a 25 Km; lo que trae aparejado una constante situación de conflicto entre las dos ciudades. Más del 85% de las chacras afectadas son de propiedad privada, de las cuales el 58% se encuentran en el ejido de Rawson.

Este crecimiento constante de la superficie lagunar trae como consecuencia la disminución de las áreas cultivadas como así también las zonas de vegetación natural.

Si bien el área de estudio nunca fue muy explotada debido a las características de los suelos; que en general son pobres; más del 50% de los suelos son clase 6 con importante salinidad y sodicidad; el área cultivada disminuyó 100 has en una década aproximadamente. En algunas explotaciones más alejadas de las lagunas se cultiva pasturas y en muy pocas quedan algunos frutales para consumo propio. En un alto porcentaje se las utiliza para la cría de animales de corral.

Respecto del área no cultivada (vegetación natural y suelos desnudos) se evidencia una marcada disminución de la misma, con 330 has aproximadamente desde 1986 hasta el 2005 debido al crecimiento de la superficie lagunar y al deterioro progresivo de los suelos. De proseguir esta tendencia es de esperar un escenario futuro con un mayor impacto negativo que

la actividad humana causa al ambiente con perjuicios de los habitantes del lugar. Es evidentes que estas lagunas ya no pueden recibir la totalidad de los vertidos que hoy se depositan en ellas ya que las mismas como cuerpos receptores están colapsadas.

Citas bibliográficas

Chuvieco, E., 1996 *Fundamentos de teledetección espacial*, De. Rialp. Madrid.

ERDAS Field Guide ERDAS IMAGINE – ERDAS INC-USA- 2001.

Instituto Nacional de Estadística y Censo. Censo Nacional 2001

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Chubut-Trelew. Laboratorio de Teledetección y SIG.

Laya, H., 1981. *Levantamiento semidetallado de suelos. Formulación de un plan integral de manejo hídrico para el Valle Inferior del Río Chubut*. CFI. Pcia del Chubut, Convenio VIRCH. Vol II. Trelew.

Serra, Juan., 1999. *¿Qué hacer con la laguna Negra? (II)*, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Trelew. Chubut.