

# DEFORESTACIÓN Y REFORESTACIÓN DE LAS LADERAS DE LA REGIÓN DE LOS LAGOS DE CHILE POR TELEDETECCIÓN.

Gilles Selleron \*

## 1. Problemática

La Región de los Lagos de Chile ha experimentado desde hace varios años una metamorfosis de la ocupación de la tierra, acentuada particularmente en la ladera oriental de la Cordillera de la Costa; precisamente en los lugares donde la población indígena es más numerosa.

En efecto, el bosque nativo está amenazado por la introducción de la empresas japonesas que han creado para ellas mismas un nuevo mercado a partir de un recurso local: la madera. Obligando, por medio de variados procedimientos, a la población autóctona a satisfacer sus necesidades de exportación, así los campesinos se ven forzados a deforestar en forma sistemática sus bosques, parcela tras parcela, para volver a plantar, inmediatamente, especies de árboles monoespecíficos de crecimiento rápido: pino y eucaliptus. Una vez que han alcanzado la madurez, estas plantaciones son taladas totalmente sobre vastas superficies y luego transformadas en "chips" destinados únicamente a la industria japonesa. Como resultado se ven impresionantes montañas de estos chips que esperan sobre los muelles del puerto de Puerto Montt.

Sin siquiera abordar a fondo aquí el tema de los problemas económicos y sociales que resultan de esta sustracción forzada de la riqueza forestal local que perjudica el recurso forestal nativo y la economía regional dependiente de la explotación de la madera, acentuando la dependencia económica y social de la población con respecto al extranjero, le sigue igualmente un desequilibrio ambiental. Los factores bien conocidos del empobrecimiento de la rica flora y del aumento de la producción, amenazan a corto plazo, el valle que va a experimentar una acidificación creciente de sus suelos, un debilitamiento de los recursos del mismo... etc.

Así se resume, de forma muy breve el proceso económico, social y político en curso, basado en la búsqueda del beneficio y la rentabilidad por excelencia y al cual la población autóctona está totalmente sometida. Tal es, entonces, el cuadro de nuestro estudio por teledetección en cual tienen origen nuestros objetivos.

## 2. Objetivos

Para proporcionar un conjunto de respuestas que sean a la vez cualitativas, cuantitativas y cartográficas sobre el estado actual de los lugares, expresión de la dinámica que se lleva a cabo en el valle, se debe, preparando una tipología de las formaciones vegetales naturales y artificiales, establecer una metodología reiterable en el tiempo que permita describir un fenómeno combinado de deforestación - reforestación abordado por medio del instrumento de la teledetección. Numerosas preguntas temáticas están ligadas al ejercicio: ¿qué confiabilidad permite el tratamiento de imagen monotemporal? ¿Qué tipología del espacio se puede alcanzar? ¿Cuántas hectareas deforestadas y reforestadas se ponen en juego de esta forma cada año? ¿Donde se localizan exactamente las nuevas talas? ¿Cómo se podría poner al día las informaciones cartográficas existentes que dependen de los servicios del Estado?

---

\* Investigador GEODE -GRAL - Universidad de Toulouse Le Mirail. Proyecto Ecos/Conicyt "Las condiciones de un desarrollo sustentable en la región de Los Lagos de Chile".

### 3. Recopilación de los datos disponibles y delimitación del sitio experimental: el valle oriental.

La imagen Spot, de una dimensión total de 59,5 por 80,4 Kms., es tomada en la primavera de 1998, con el fin de que no presente nubosidad alguna. Sus características son las siguientes:

**Cuadro N° 1.**

Satélite	Espectro	Nivel	Fecha	K/J	Coordenadas del	Angulo de	Pixeles	Pixeles	Núm de	Resol.
SPOT	XS	1B	30-10-1998	Escenas	centro de la escena	Incid.	línea	Columna	Canales	al suelo
				671/411	40°32S-73°20W	28.6°	2979	4022	3	20m

Para la experimentación, un vasto rectángulo centrado sobre la ladera oriental de la Cordillera de la Costa fue seleccionado conjuntamente a partir de la visión general de la imagen satelital y del conocimiento del terreno a fin de extraer la zona donde el fenómeno estudiado es más notorio en el paisaje. La muestra del lugar, abarca sólo una parte de la comuna de San Juan de la Costa, ya que, para este ejercicio, ella contiene una proporción muy grande de la Cordillera sobre la cual los problemas no son de la misma naturaleza. La superficie del terreno, comprendida entre las coordenadas de sus cuatro ángulos: 73°34' a 73°09' Oeste y 40°30' a 40°45' Sur, hacen un total de de 106.537 hectáreas. Está delimitado por el curso de agua muy fácil de reconocer sobre la imagen satelital: además del río Contaco en su parte central, se encuentra al Nor-Este el río Rahue, al este, los alrededores de Osorno y el río Rahue continúa hacia el Sur con su afluente el Río Negro; por último, al Sud-Este, el Río Hueyehue. El lugar se sitúa sobre los mapas topográficos a 1/50 000: "*Bahía Mansa ; Huilma y Osorno; 4030 / 7300 a 7330*" sobre los cuales los mapas de vegetación titulados "*Proyecto catastro y evaluación de los recursos vegetales nativos*" publicados por la CONAF en 1996 se encuentran acuñados. Por consiguiente, la imagen del valle está compuesta de 1576 líneas sobre 1690 columnas, a 20 metros de resolución espacial, es decir 2.663.440 pixeles, y es percibida simultáneamente en tres longitudes de onda: Verde, Rojo y Próximo infrarrojo.

### 4. Metodología

#### 4.1. Metodología del terreno

La metodología es fundamentalmente retrospectiva en el sentido en que los trabajos de investigación son posteriores a la toma de la imagen satelital hecha en octubre de 1998. Ella tiene como fundamento el tratamiento de la imagen en estrecha relación con los trabajos de terreno, a fin de establecer la relación más correcta entre los objetos analizados en el suelo y sus reflejos radiométricos sobre la imagen. Para lograr esto, se realizó una misión en terreno- durante la misma temporada vegetativa, pero un año más tarde (Noviembre-Diciembre de 1999)-, ella permitió examinar la metodología del terreno mediante recorridos en la región y un plan de sondaje con obtención de muestras para el conjunto de las distintos tipos de ocupación del suelo, poniendo especial énfasis en las formaciones vegetales, tanto forestales como de pradera.

Para conseguir rapidez y para adquirir un número suficiente de muestras sobre la totalidad del espacio considerado, una ficha sobre el estado del terreno, previamente obtenida (cuadro N° 2), permite la descripción detallada de cada muestra. Las principales variables dan cuenta de la naturaleza de la vegetación, (especies, su homogeneidad, edad, densidad...), de su estructura (vertical u horizontal), de su implantación geográfica (relieve, pendiente, irregularidades), del estado fenológico presente como color en la partícula sobre la imagen; y de los trabajos antrópicos con sus datas. Cada muestra es fotografiada al igual que las partículas o formaciones vegetales

limítrofes. Además, se efectúan sistemáticamente secuencias de diapositivas sobre los tramos recorridos; cada fotografía se transcribe inmediatamente sobre transparencias superpuestas de varios sectores de la imagen a gran escala. Los agricultores son interrogados a veces con el fin de conocer, informar y verificar nuestras hipótesis en cuanto a la naturaleza de los cultivos existentes sobre sus parcelas el año anterior, o sobre la fecha más exacta posible de las talas rasas hechas en los dos años anteriores, ya sea de las plantaciones de pinos o de eucaliptus. En resumen, todos los elementos que sirvan para entregar más información sobre el contenido espectral de la imagen. De este modo, se ha hecho un repertorio de una treintena de investigaciones sobre las parcelas y se han hecho unas 250 diapositivas complementarias.

#### 4.2. Tratamiento radiométrico de la imagen del 30 de octubre de 1998

La imagen, producida como "color infrarrojo", es sometida en primer lugar a una alineamiento dirigido sobre los tres canales a fin de resaltar visualmente su contenido radiométrico global. Desde allí, el conjunto de análisis de las parcelas (aquellos de las fichas del terreno y aquellos que recogen una selección de fotografías que se sitúan en las transparencias) se delimitan directamente en la imagen de la pantalla. Sus valores espectrales brutos son extraídos en los tres canales. El conjunto de estas informaciones constituye el fichero de base a tratar, una matriz numérica compuesta de 107 partículas que hacen un total de 5.759 píxeles.

La opción metodológica se descompone en dos partes. La primera, para permanecer lo más cerca posible de la información espectral bruta de la imagen, descompone el contenido radiométrico de los análisis de las parcelas y fortalece la relación terreno - imagen. El análisis va de lo particular a lo general. La huella espectral propia a cada una de las muestras se pone en evidencia en el plano de los canales Rojo (XS2) y próximo infrarrojo (XS3) con el fin de poder compararlas entre ellas. Los valores promedio de los píxeles de las parcelas dejan, de esta forma, aparecer nubes de puntos, cuyas respuestas espectrales y sus posiciones relativas en el plano, de estos dos canales, permiten interpretaciones temáticas y radiométricas además de una validación complementaria de las hipótesis (imagen) y de los datos incluidos en cada ficha del terreno.

##### 4.2.1. el caso de las plantaciones

A través de este procedimiento, se constata muy rápido que el conjunto de análisis de las parcelas de plantaciones de pino o de eucaliptus abarcan una gran amplitud espectral en los dos canales (el canal XS2 que traduce en mayor medida su tasa de cobertura al suelo, mientras que el canal XS3, traduce la tasa de clorofila). Esta constatación tiene estrecha relación con la fuerte amplitud de las edades de las plantaciones, desde las más recientes que aún se encuentran bajo el estrato herbáceo espontáneo hasta las más antiguas, las que alcanzan 20 metros de altura. Pero, la consecuencia de este vasto campo espectral es que produce algunas confusiones radiométricas con otras formaciones sobre todo las arbóreas; principalmente en el matorral adulto y en segundo lugar en el bosque nativo.

Se debe precisar que estas confusiones son inherentes al sistema de teledetección ya que no existe una relación biyectiva sobre una imagen monotemporal (como sobre una fotografía aérea) entre un objeto en el suelo y su huella espectral sobre el documento espacial. Dicho de otra forma, en ciertas fechas, un objeto puede tener al menos dos huellas espectrales diferentes e inversas. Por este hecho, el tratamiento numérico va a consistir entonces en buscar las mejores diferencias espectrales posibles a partir de los valores radiométricos registrados por el scanner del satélite Spot. Pero al final, sólo un análisis multitemporal permitirá que disminuyan, sino se deberán desechar completamente tales inconvenientes. En el caso actual, este hecho obliga a que se reúnan las plantaciones en una categoría única, cualesquiera sean las especies, sus antigüedades o también las estructuras que los componen; a excepción de las plantaciones de eucaliptus muy jóvenes (altura < a 5 mt., diámetro < 10 cm y densidad > 70 %) que poseen una particularidad espectral que depende del color foliáceo, claramente azuladas. Esta aparece unívoca en la imagen.

#### 4.2.2. Construcción de la nomenclatura desde la perspectiva de la cartografía

El análisis de las reagrupaciones de las huellas espectrales permiten actualizar los temas perceptibles con la fecha del 30 de octubre de 1998. La nomenclatura final está compuesta de cuatro formaciones forestales, cuatro herbáceas, dos de cultivo, el agua y el medio urbano; considerando que, para realizar verdaderamente un tratamiento de la imagen, el conjunto de componentes de un paisaje debe ser tomado en cuenta bajo el riesgo de desechar una cantidad muy grande de píxeles en la fase de las clasificaciones numéricas, lo cual, igualmente, provocaría errores en las cartografías.

Junto con la segunda etapa metodológica, se procede a un análisis en componente principal (ACP), el que introduce una desacople de los canales Verde y Rojo (XS1-XS2), con el fin de que la información multispectral sea más discriminante. El conjunto de los nuevos valores radiométricos de los análisis de las parcelas anteriores es extraído de los tres componentes que resultan del ACP. Entonces se realiza una clasificación (de tipo baricéntrica) de todos los píxeles de la imagen en función de la totalidad de las muestras modificadas de esta manera. Luego la clasificación pasa por una revisión en la que se eliminan los píxeles que habían sido clasificados de manera aberrante, es decir, los que no corresponden a entidades espaciales homogéneas. Esto consiste en reemplazar los píxeles aislados sin sentido temático, asignándoles el valor del asunto clasificado dominante que envuelve dicho píxel. Este procedimiento permite revelar mejor cuales son las parcelas forestales y agrícolas. De esta forma, se permuta la información en cartografía. Una sola clasificación cartográfica es presentada aquí a pequeña escala con el fin de obtener una visión de conjunto del valle tratado.

#### 5. Análisis de los resultados y críticas

La evaluación de este trabajo se realiza tanto en el plano cualitativo, en función del conocimiento del terreno, de las interpretaciones del comportamiento espectral de las principales formaciones vegetales, como también en el plano cuantitativo, esto es, la crítica del tratamiento de la imagen y la evaluación estadística.

##### 5.1. la clasificación cartográfica; evaluaciones temáticas y estadísticas

Se comparan conjuntamente, la figura N° 1, la matriz de relación (cuadro N° 3) y los resultados estadísticos (cuadro N° 4). Este último expone, para cada tema cartográfico, el número de píxeles correspondientes y su traducción en hectáreas y en porcentaje. Globalmente, un 53,30 % del espacio está cubierto por bosque, de lo cual 24,5 % son plantaciones y 28,80 % del conjunto es " *bosque nativo; matorral-renoval adulto*".

La cartografía que resulta del tratamiento de imagen (fig. N° 1) permite establecer la organización general y particular del espacio a fines de 1998: los principales tipos de ocupación del suelo son fáciles de reconocer y vuelven a trazar de manera conveniente el fraccionamiento conocido entre la Cordillera forestal al oeste donde domina el verde (bosque nativo) y el café (matorral-renoval adulto), la planicie al este sembrada de numerosos tintes amarillos (formaciones herbáceas más o menos cloroflicas), y, entre las dos, la ladera compuesta de rojo (plantaciones), de grises y de azules (formaciones de hierbas muy secas). Las plantaciones de eucaliptus muy jóvenes se distinguen claramente (azul oscuro) en la parte central y al sur del mapa. Ellas constituyen muy a menudo cuadriláteros que cubren superficies muy grandes contiguas y que son relativamente homogéneas (a veces mezcladas con gris lo que se traduce en una cubierta aún muy débil, < 50%). Se puede afirmar, entonces, que ellas superan las 2.462 hectáreas si se agregan las formas geométricas grises que muy a menudo colindan.

Mediante el tratamiento de la imagen se muestra una actividad humana diferenciada ya que los colores dominantes permiten delimitar bien los sectores geográficos: con sus praderas, a menudo rasas y secas (gris y celeste), el norte del Río Contaco está consagrado principalmente a la cría de ganado ovino. Allí, donde el color rojo es uniforme, es donde realmente se encuentran las plantaciones arbóreas en curso. Estas dominan, al contrario, los accesos del Río Contaco; se desarrollan principalmente en el lado este de la Cordillera y sobre

todo hacia el sur donde tienden incluso a agrandarse (cuadriláteros grises colindantes). La colza, extremadamente brillante en los tres canales, está muy aislado en esta estación del año al norte del Rio Rahue, así como los alrededores del oeste de Osorno (ausentes en los sectores del mapa presentado).

Por sus puntajes elevados (superiores a un 80% para 8 tramos de la nomenclatura sobre 13), la matriz de confusión de las muestras (cuadro 2), confirma la elección prudente de los análisis de las parcelas, teniendo en cuenta, igualmente la tasa muy débil de desecho de 0,33 % (cuadro N° 3), y revela tasas de reconocimiento de los componentes del paisaje globalmente satisfactorios (subrayados en gris). También permite comprender los defectos de los resultados expuestos ya que el tramo "plantaciones" está, estadísticamente, sobrestimado. Dicho de otra manera, todas las plantaciones están bien cartografiadas Fig. N° 1) pero algunas formaciones de "matorral - renoval adultos"- en una menor medida la del "bosque nativo"- son en realidad plantaciones potenciales cuya coberturas del suelo no era suficiente para ser percibidas como tales. Solamente, la interpretación visual permite corregir estas conclusiones al expresar un proceso en vías de evolución.

### Conclusiones y perspectivas

Los resultados producidos sin alcanzar la perfección - así como no son perfectos los mapas hechos por la CONAF en 1996 en que la comparación minuciosa con la imagen (incluso en bruto) muestra que las plantaciones de pinos y de eucaliptus son globalmente subestimadas en diferentes sectores geográficos, mientras que el tratamiento de la imagen, globalmente las sobrestima- constituyen un primer eslabón en la búsqueda integrada del programa de cooperación.

Sus resultados todavía parciales abren una perspectiva nueva: perseguir el análisis combinado de la deforestación y reforestación del valle, mediante un investigación metodológica centrada, esta vez, en la dinámica del fenómeno resaltando la ventaja primordial del instrumento de la teledetección: el tratamiento multitemporal. Se adquirirán entre una y dos nuevas imágenes satelitales. De esta forma se podrán alcanzar nuevos objetivos: un dominio y un seguimiento regular de un proceso en constante evolución en el cual la rapidez se deberá identificar con el fin de actualizar los datos existentes, tanto en el plano estadístico como en el de las representaciones en el medio de las cartografías a escalas múltiples. ( Ver Anexo : **Figura 1** Clasificación – cartografía del valle en octubre de 1998 )

Cuadro 2 – Ficha de informes del terreno. Osorno 1999

Fecha	Meteorología		Ruta		Oriente	Referencias			
N° de informe									
Color de la imagen	café Rojo	Naranja Amarillo	Verde Verde claro	Verde Oscuro	Celeste	Azul	Azul Oscuro	Blanco	
N° de diapo:									
	Altura Mt.	Diametro Cm.	Densidad D. semi-D. abierto	Estrato N°	Tasa cobertura	Esp. Ece Dom. Sub-dom.	Color Veget	Estado sanit.	Trabajos Humanos
Formaciones									
Forestales									
Adulto									
Renovado									
Plantación									
Praderas									
Matorral									
Mato-pradera									
Mato-arborea									
Pradera									
Pradera-arbórea									
Cultivo									
Astros...									
Relieve	Plano alto		Medio Bajo			Regul. Irregular	Espacio	sobre línea	
Declive	Sin fuerte		Medio Debil		O en grado:			Inter -línea	
Observaciones									

Cuadro 3 – Matriz de relación entre los tipos de muestras

Tipos	Deshechos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.0	87.7	10.9	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0
2	0.0	6.3	63.4	30.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	3.4	12.1	42.5	40.8	0.0	0.2	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.0	2.9	5.8	1.5	69.2	8.5	2.2	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	8.7
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	95.1	95.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9	1.7	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.0	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	9.3	65.3	16.9	0.0	8.4	0.0
9	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	1.4	96.3	0.0	0.0	0.0
10	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.6	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	98.1	0.0
12	1.7	0.0	0.2	0.0	16.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	81.0

Cuadro 4 – Resultados cuantitativos de la clasificación – cartográfica del valle, al 30/10/98

TEMAS	Nº de Clases	Número de muestras	Número de Pixeles	Resultados		
				En pixeles	En hectáreas	En %
No clasifica	0	--	--	8747	349.9	0.33
Bosque nativo	1	7	350	208183	8327.3	7.82
Matorral-renoval adulto	2	5	527	559771	22390.8	21.02
Plantación pino + eucaliptus	3	31	1954	590824	23633.0	22.18
Plantac. Jóvenes Eucaliptus	4	13	519	61563	2462.5	2.31
herbaceos secos; suelo limpio	5	12	407	338750	13550.0	12.72
Pradera rasa, seca	6	8	280	472302	18892.1	17.73
Pradera poco clorofilica	7	5	231	307911	12316.4	11.56
Pradera clorofilica	8	5	231	59913	2396.5	2.25
Cultivo muy clorofilico	9	7	438	40865	1634.6	1.53
Agua	10	4	170	6925	277.0	0.26
Campos de colza	11	2	52	966	38.6	0.04
Urbano	12	8	600	897	35.9	0.03
Total:		107	5759	2663440	106537.6	100.0

Figura N°1.

