

# Avances del proyecto capital natural: **Mapas de Cobertura y Uso de suelo**

Enrique Calfucura, Andrés Ceballos y Federico Natho

Departamento de Estadísticas Experimentales – Gerencia de Estadísticas Macroeconómicas

# Agenda

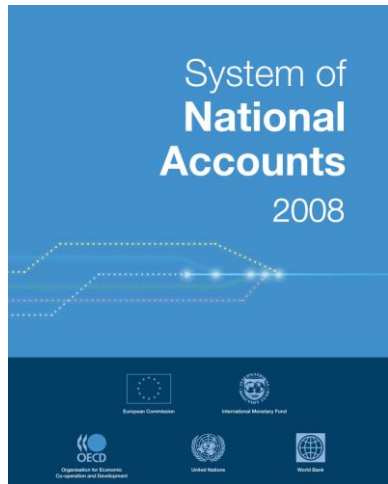
1. Contexto
2. Descripción metodológica
3. Potenciales usos
4. Comentarios finales

A glass globe with a grid pattern, resting on a circular base. The globe is centered on the map of South America. The background is a light blue grid with a perspective effect, suggesting a globe or a map. The text "1. Contexto" is overlaid on the right side of the globe.

# 1. Contexto

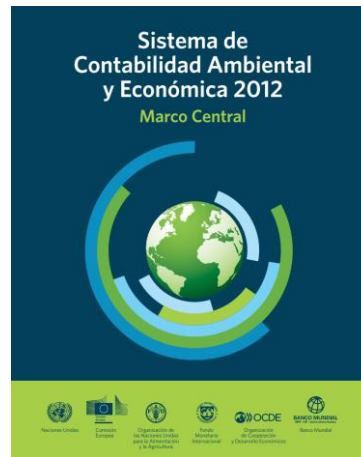
# Marcos estadísticos de CCNN: SNA y SEEA

**SNA 2008:** Estándar para medir la economía.



Capital producido

**SEEA CF 2012:** Estándar para medir el medio ambiente y sus relaciones con la economía.



Capital natural  
**(stock de activos ambientales)**

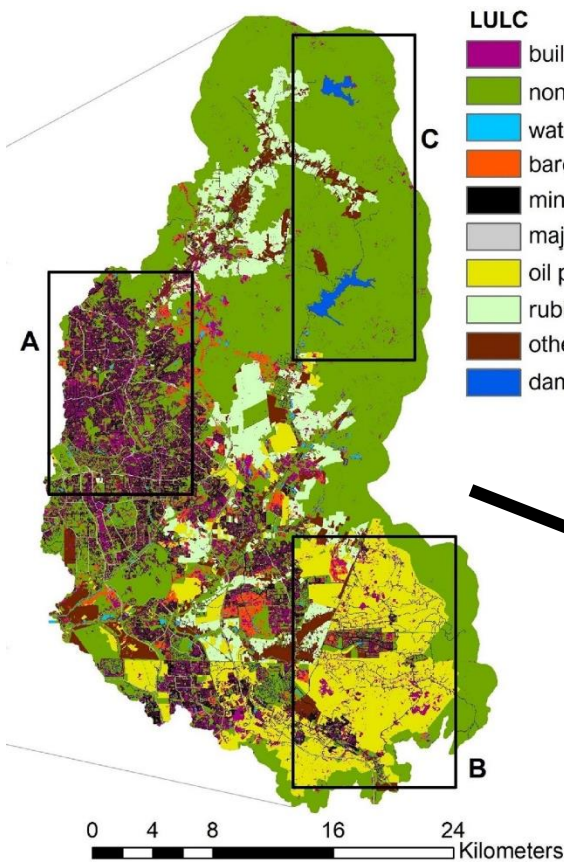
**SEEA EA 2021:** Toma una visión diferente, ve a los ecosistemas como activos que proveen servicios, dependiendo de sus características, extensión y condiciones.



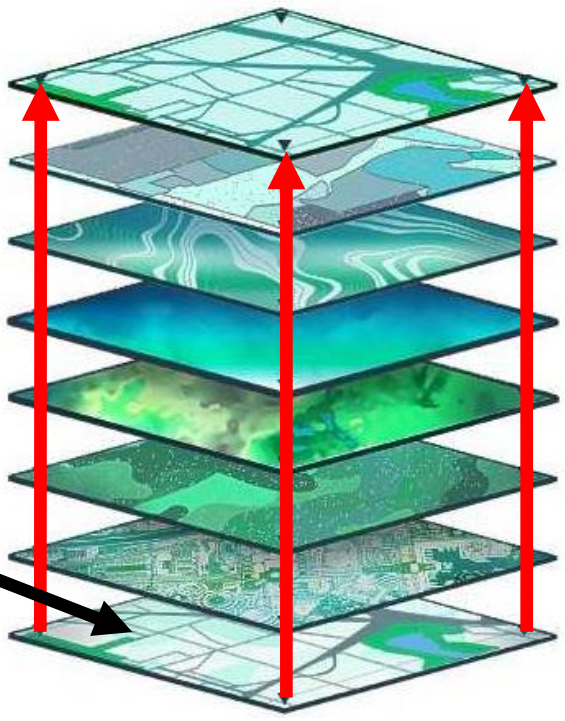
Capital natural  
**(visión integrada entre activos ambientales y servicios ecosistémicos)**

Ambos marcos conceptuales son complementarios

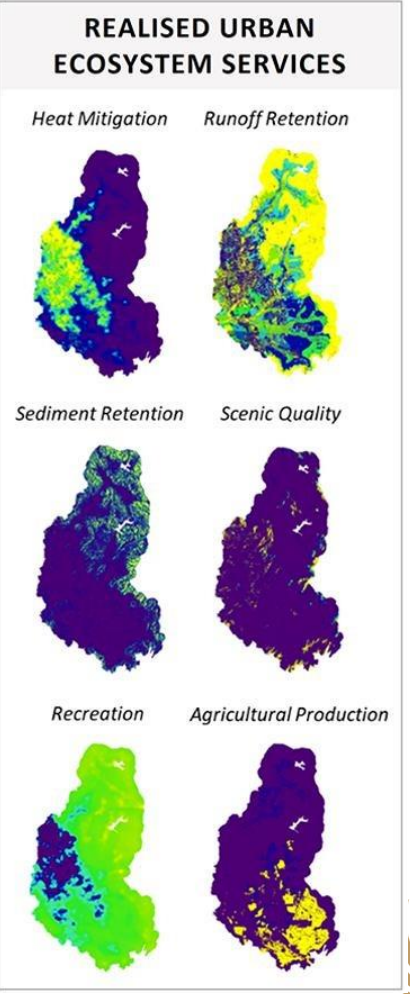
# Ejemplo de integración de activos ambientales y servicios ecosistémicos



- LULC**
- built areas
  - non-agri vegetation
  - water
  - bare soil
  - minor roads
  - major roads
  - oil palm
  - rubber
  - other agriculture
  - dams



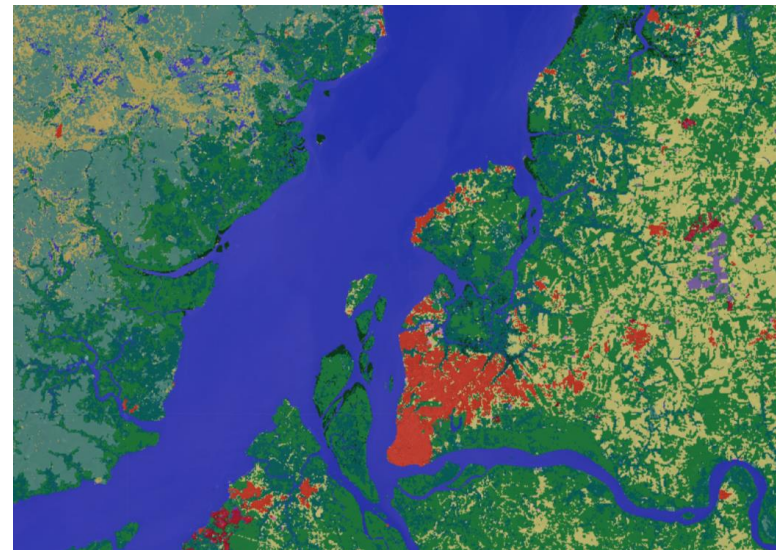
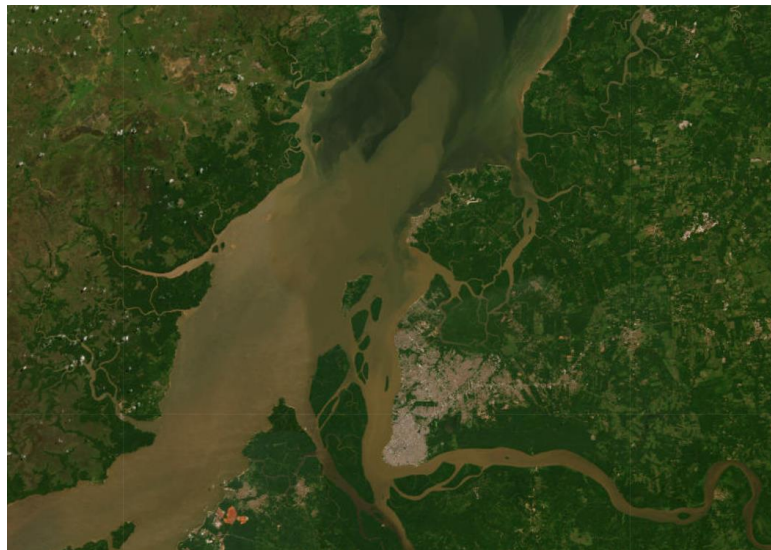
- Uso Antrópico
- Población
- Temperatura
- Precipitación
- Relieve
- Tipo de suelo
- Biomasa
- Cobertura de suelo



Fuente: [Lourdes et al., 2022](#)

# ¿Qué es un mapa de cobertura de suelo?

- Cobertura física y biológica observada en la superficie terrestre que incluye la vegetación natural y las superficies abióticas-inertes (SEEA CF, 2012)
- Clasifica una extensión geográfica en distintas clases de cobertura, como por ejemplo: superficie construida, pradera, cultivo, bosque, agua, etc.



| Coberturas de Suelo   |               |
|---|---------------|
|    | Bosque        |
|    | Pradera       |
|    | Agua          |
|    | Cultivo       |
|   | Matorral      |
|  | Sup. Constru. |

# Objetivo general

Disponer de productos de Contabilidad Económica-Ambiental asociados al activo natural suelo.

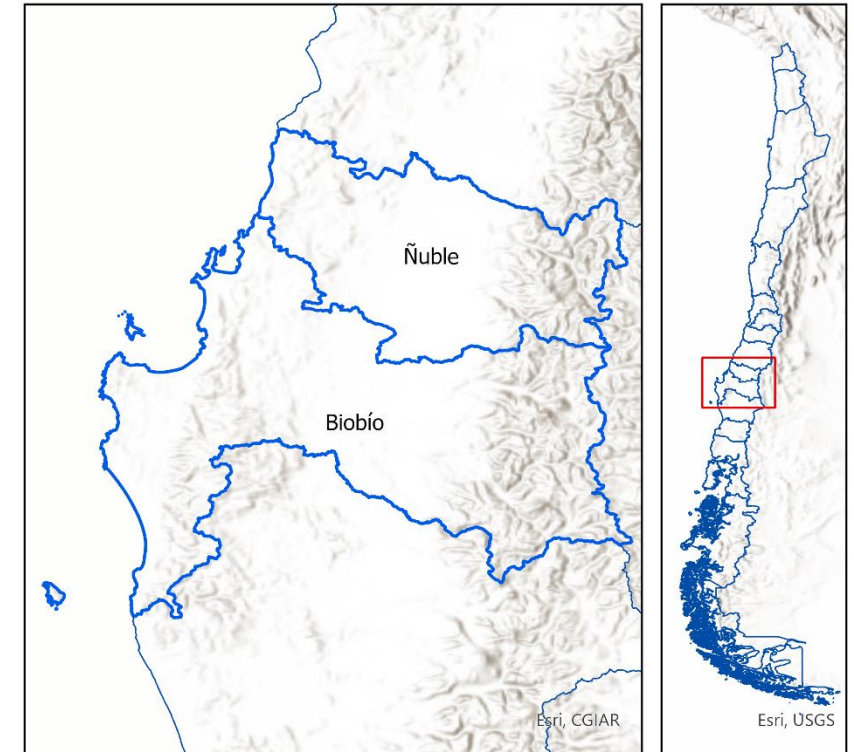
## Productos específicos

1. Mapa cobertura de suelo para Ñuble-Biobío y cuenta física de cobertura de la tierra.
2. Mapa cobertura de suelo a nivel nacional y cuenta física de cobertura de la Tierra.

### Debe ser un producto:

- A escala nacional, consistente y estandarizado.
- Con alta resolución espacial.
- Con replicabilidad temporal anual.
- Basado en datos públicos y privados.
- Representativo de las características y necesidades nacionales.
- Transparente y público.

## Área de estudio Piloto



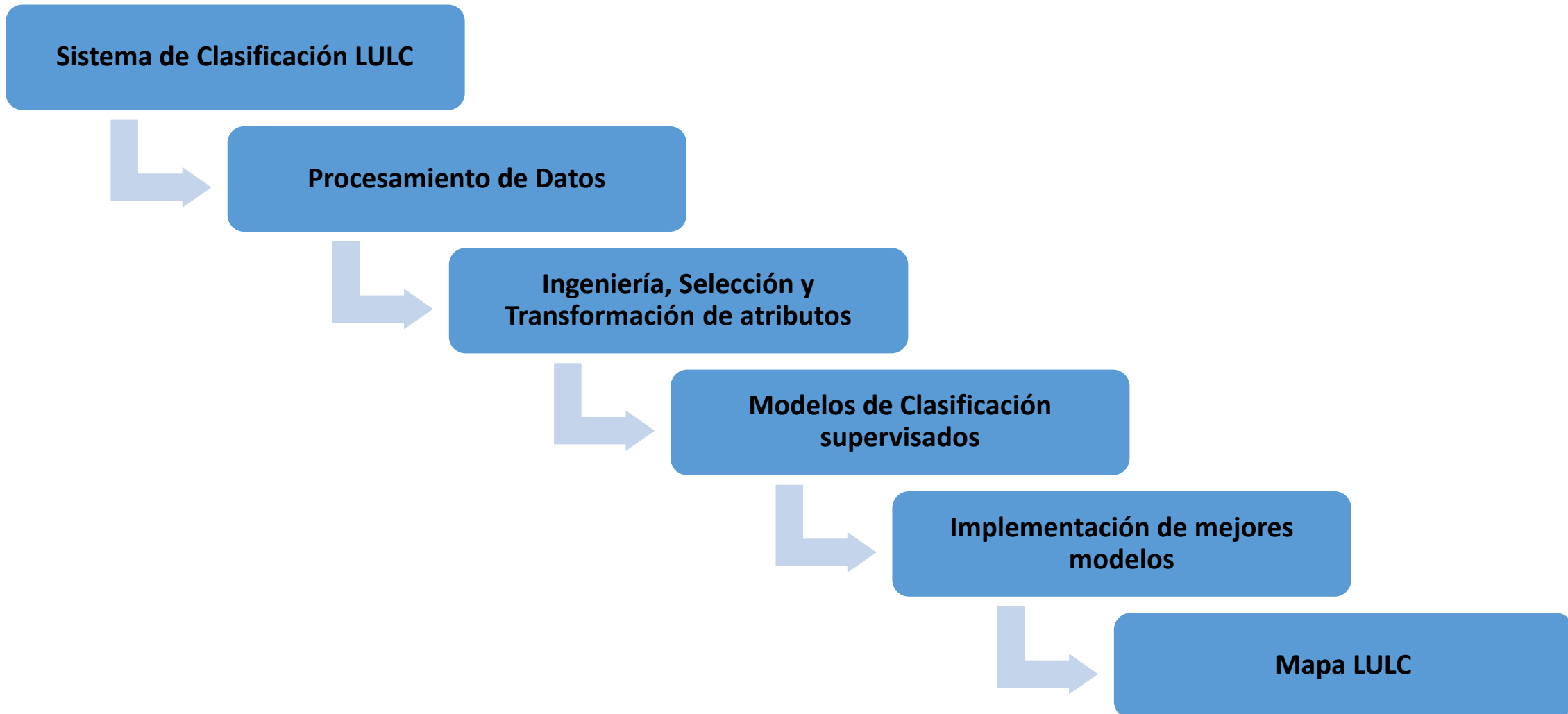
| Región       | km <sup>2</sup> | % Chile      |
|--------------|-----------------|--------------|
| Ñuble        | 13180           | 1,74%        |
| Biobío       | 24020           | 3,18%        |
| <b>Total</b> | <b>37200</b>    | <b>4,92%</b> |

## 2. Descripción metodológica

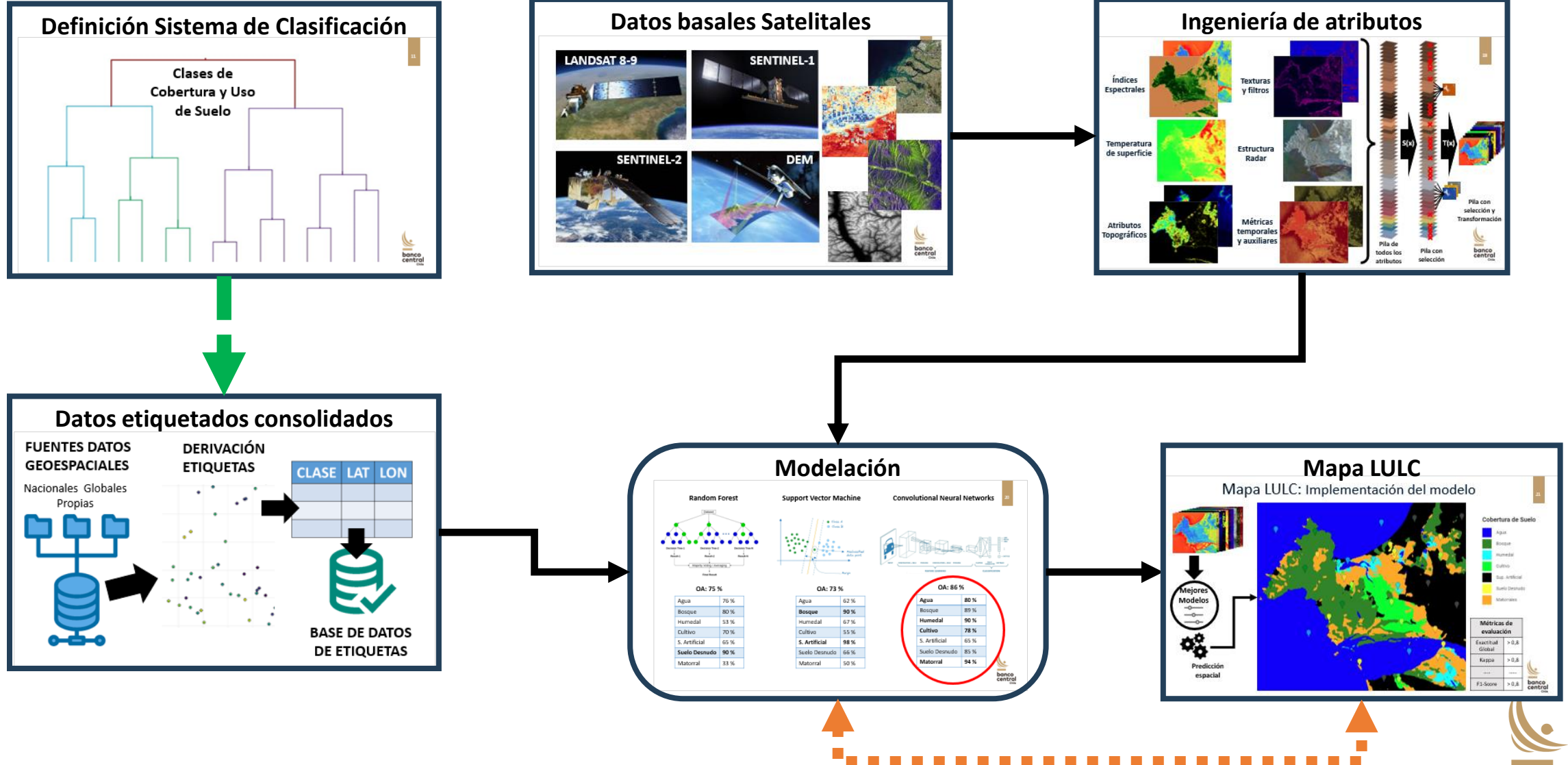




# Metodología general cobertura y uso de suelo para Piloto Ñuble y Biobío.



# Diagrama metodológico



### Datos etiquetados consolidados

**FUENTES DATOS GEOESPACIALES**  
Nacionales Globales Propias

**DERIVACIÓN ETIQUETAS**

| CLASE | LAT | LON |
|-------|-----|-----|
|       |     |     |
|       |     |     |
|       |     |     |
|       |     |     |
|       |     |     |

**BASE DE DATOS DE ETIQUETAS**

### Modelación

**Random Forest**

OA: 75 %

|                 |      |
|-----------------|------|
| Agua            | 75 % |
| Bosque          | 80 % |
| Humedal         | 53 % |
| Cultivo         | 70 % |
| S. Artificial   | 65 % |
| Suelo Destruído | 90 % |
| Matorral        | 33 % |

**Support Vector Machine**

OA: 73 %

|                 |      |
|-----------------|------|
| Agua            | 62 % |
| Bosque          | 90 % |
| Humedal         | 67 % |
| Cultivo         | 55 % |
| S. Artificial   | 98 % |
| Suelo Destruído | 66 % |
| Matorral        | 50 % |

**Convolutional Neural Networks**

OA: 86 %

|                 |      |
|-----------------|------|
| Agua            | 80 % |
| Bosque          | 89 % |
| Humedal         | 90 % |
| Cultivo         | 78 % |
| S. Artificial   | 65 % |
| Suelo Destruído | 85 % |
| Matorral        | 94 % |

### Mapa LULC

Mapa LULC: Implementación del modelo

**Mejores Modelos**

Predicción espacial

**Cobertura de Suelo**

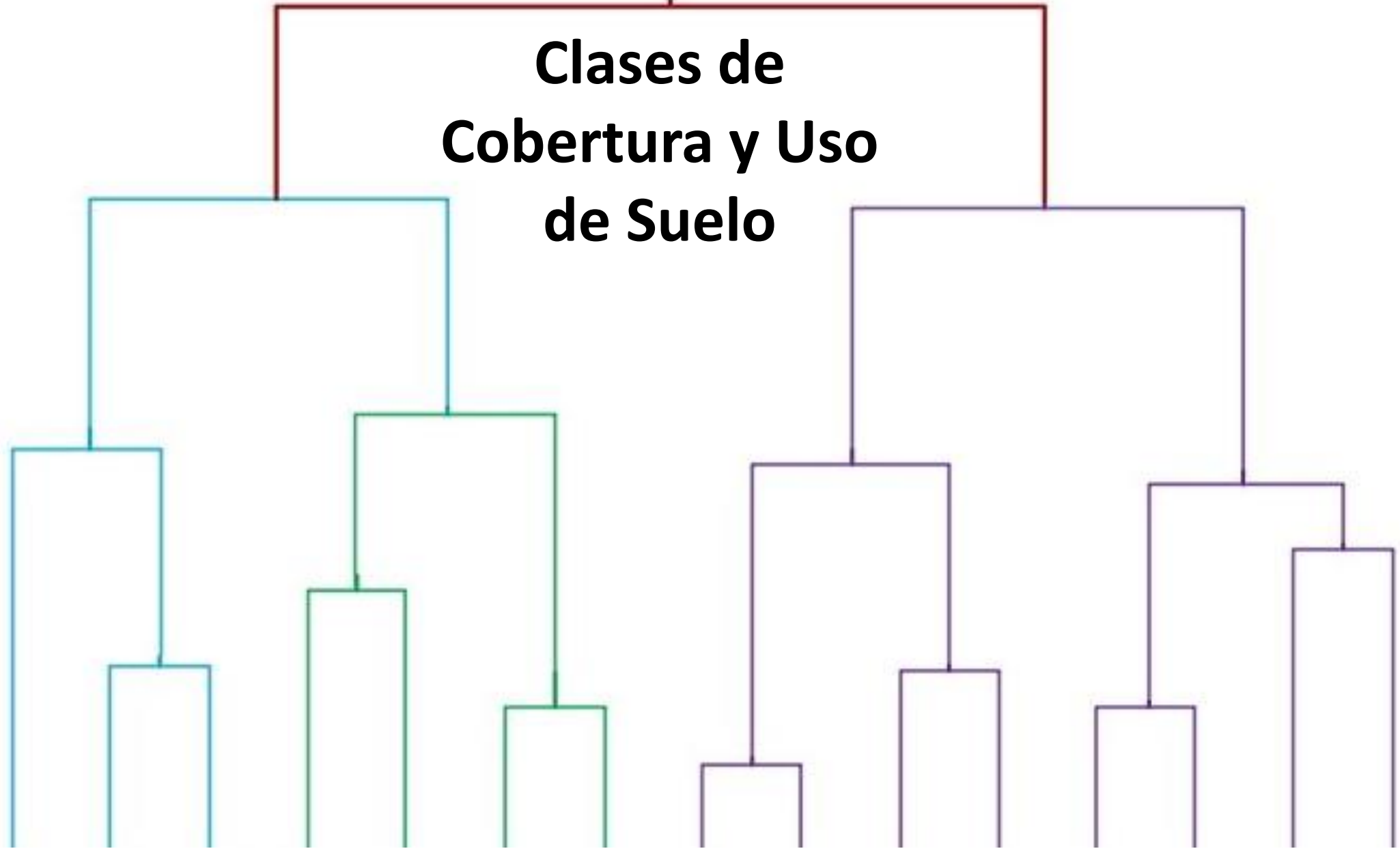
- Agua
- Bosque
- Humedal
- Cultivo
- S. Artificial
- Suelo Destruído
- Matorral

**Métricas de evaluación**

|                  |       |
|------------------|-------|
| Exactitud Global | > 0,8 |
| Kappa            | > 0,8 |
| F1-Score         | > 0,8 |

Retroalimentación

# Clases de Cobertura y Uso de Suelo



# Propuesta de esquema de Clasificación de cobertura y uso de suelo

Revisión de Sistemas Nacionales-Regionales

FAO LCCS

CORINE

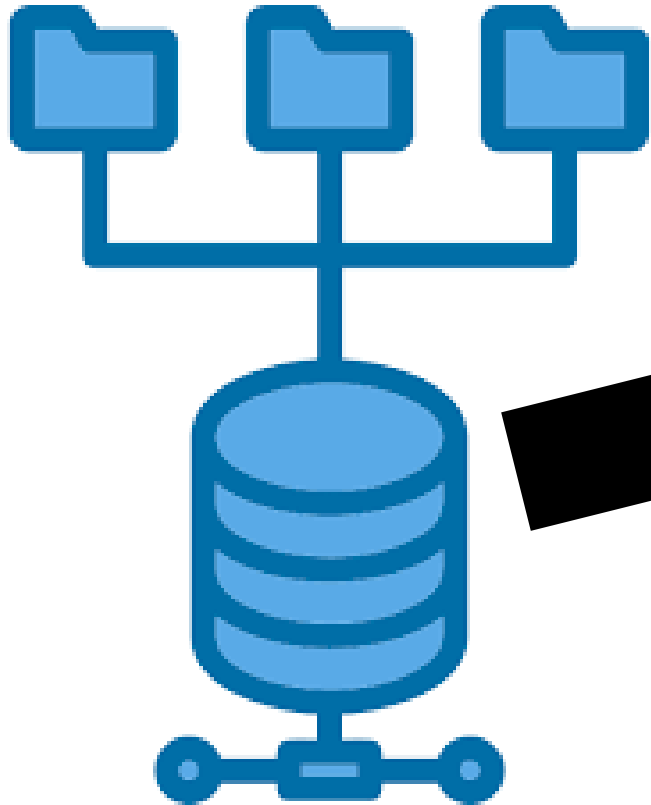
USGS

GLC China

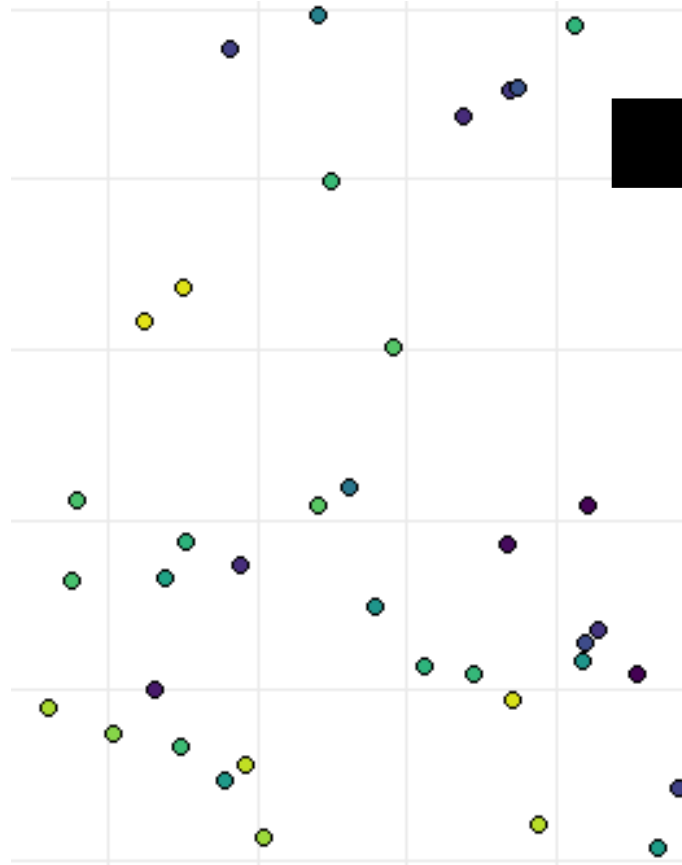
| N1                       | N2                       | N3                              |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| Bosques                  | Bosques nativos          | Bosques siempreverde            |
|                          | Bosques Mixtos           | Bosques caducifolio             |
| Matorrales               | Matorrales               | Bosque exótico-nativo           |
|                          |                          | Matorrales nativos              |
| Praderas                 | Praderas                 | Matorral exótico-nativos        |
|                          |                          | Praderas anuales                |
| Cultivos                 | Forestales               | Praderas siempreverdes          |
|                          |                          | Plantación de coníferas         |
|                          |                          | Plantación de eucaliptus        |
|                          | Frutales                 | Otras plantaciones              |
|                          |                          | Cultivos frutales siempreverdes |
|                          | Cultivos herbáceos       | Cultivos frutales caducos       |
| Vegetación inundada      | Humedales                | Cultivos herbáceos              |
|                          | Turberas                 | Humedales                       |
| Agua                     | Cuerpos y cursos de agua | Turberas                        |
| Superficies descubiertas | Cuerpos y cursos de agua | Cuerpos y cursos de agua        |
|                          | Suelos desnudos          | Suelos desnudos                 |
|                          | Arenas                   | Arenas                          |
|                          | Rocas y Gravas           | Rocas y Gravas                  |
| Glaciares y nieves       | Salares                  | Salares                         |
|                          | Glaciares y nieves       | Glaciares y nieves              |
| Superficies artificiales | Superficies construidas  | Superficies construidas         |
|                          | Minería                  | Minería                         |
| <b>9</b>                 | <b>17</b>                | <b>23</b>                       |

# FUENTES DATOS GEOESPACIALES

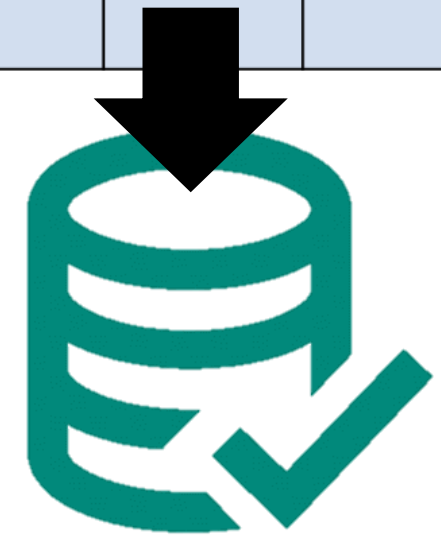
Nacionales Globales  
Propias



# DERIVACIÓN ETIQUETAS



| CLASE | LAT | LON |
|-------|-----|-----|
|       |     |     |
|       |     |     |
|       |     |     |



**BASE DE DATOS  
DE ETIQUETAS**

# Clases y datos etiquetados



Resolución espacial de 10x10

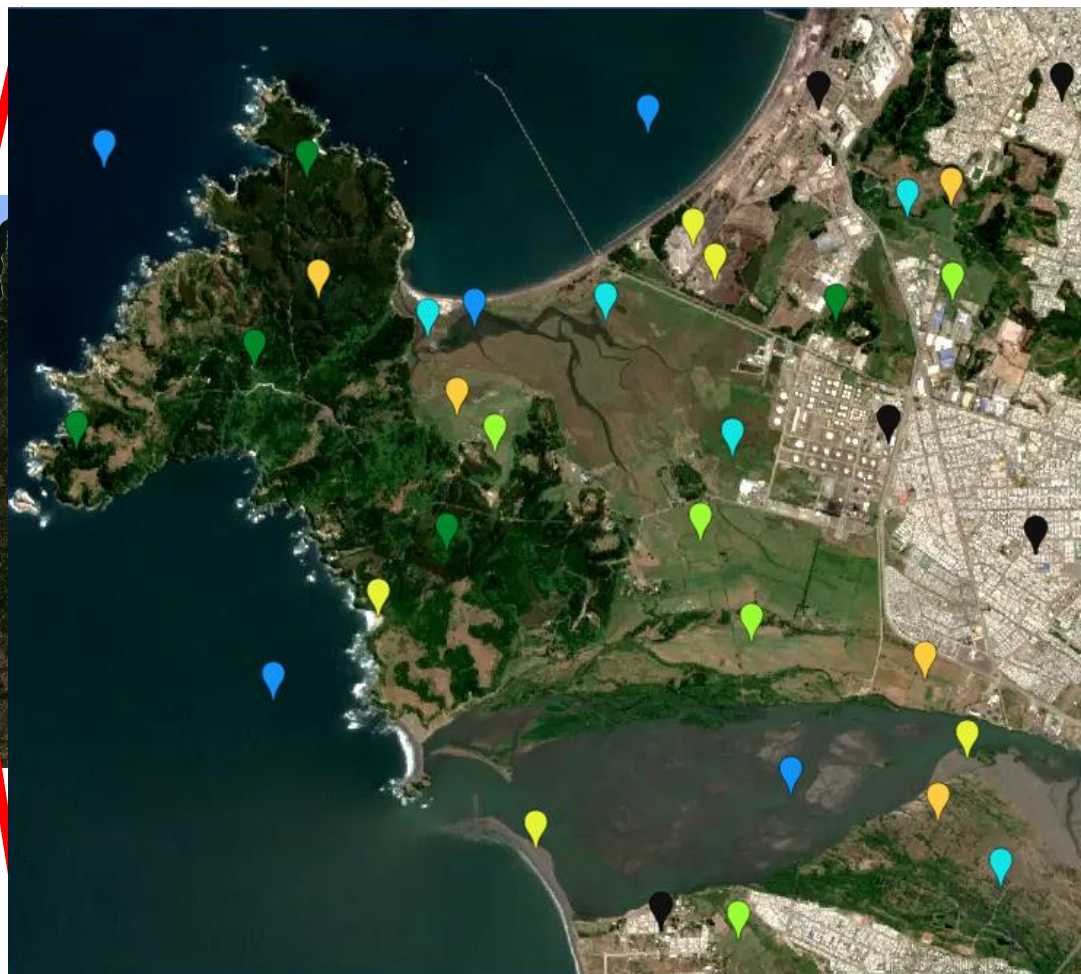
| ID  | Lat    | Lon    | Clase |
|-----|--------|--------|-------|
| 1   | -36,72 | -73,01 | Agua  |
| 2   | -36,71 | -73,03 | Agua  |
| 3   | -36,75 | -73,19 | Agua  |
| 4   | -36,77 | -73,01 | Agua  |
| 5   | -36,81 | -73,02 | Agua  |
| ... | .....  | .....  | ..... |

de do en bales

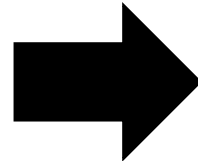
Fotointerpretación en clases complejas

Ejemplo aplicado en **península de Hualpén, Bio-Bío**

# Clases y datos etiquetados

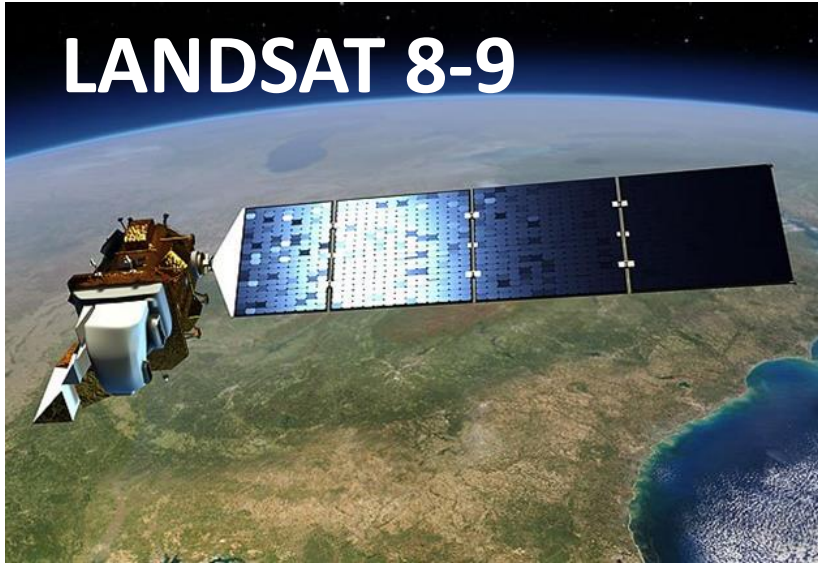


Base de datos de etiquetas



| ID   | Lat    | Lon    | Clase         |
|------|--------|--------|---------------|
| 1    | -36,72 | -73,01 | Agua          |
| 2    | -36,71 | -73,03 | Agua          |
| .... | ....   | ....   | ....          |
| 12   | -36,82 | -73,08 | S. Artificial |
| 13   | -36,74 | -73,10 | S. Artificial |
| .... | ....   | ....   | ....          |
| 21   | -36,71 | -73,08 | Humedal       |
| 22   | -36,72 | -73,00 | Humedal       |
| .... | ....   | ....   | ....          |
| 26   | -36,77 | -73,01 | Bosque        |
| 27   | -36,70 | -73,03 | Bosque        |
| .... | ....   | ....   | ....          |
| 34   | -36,74 | -73,05 | Suelo         |
| 35   | -36,80 | -73,00 | Suelo         |

# LANDSAT 8-9



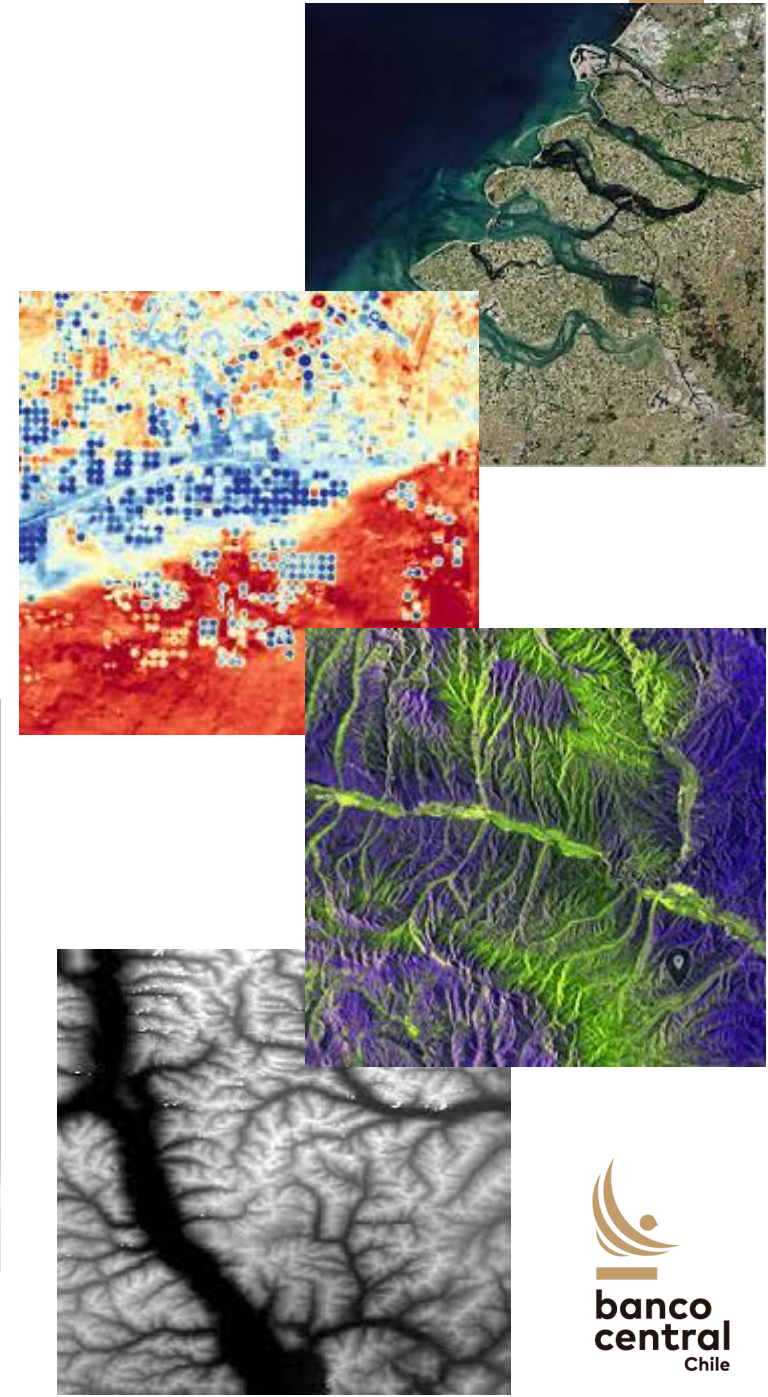
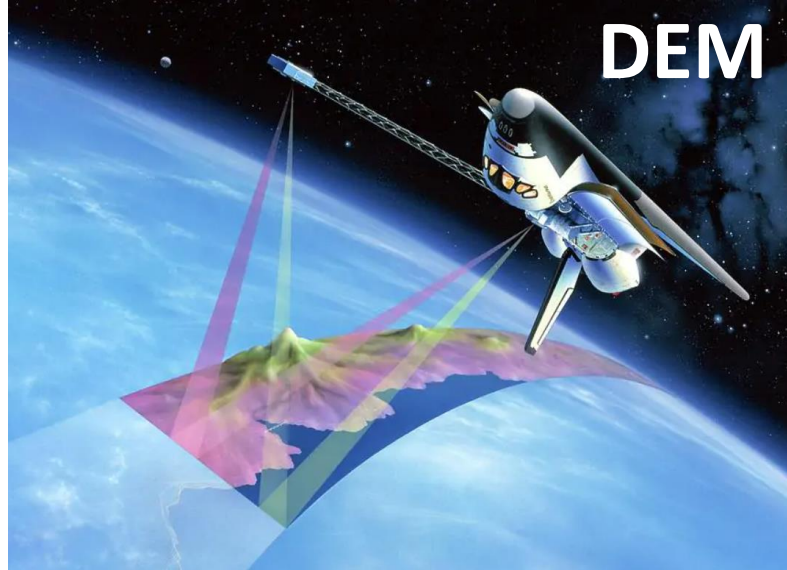
# SENTINEL-1



# SENTINEL-2



# DEM

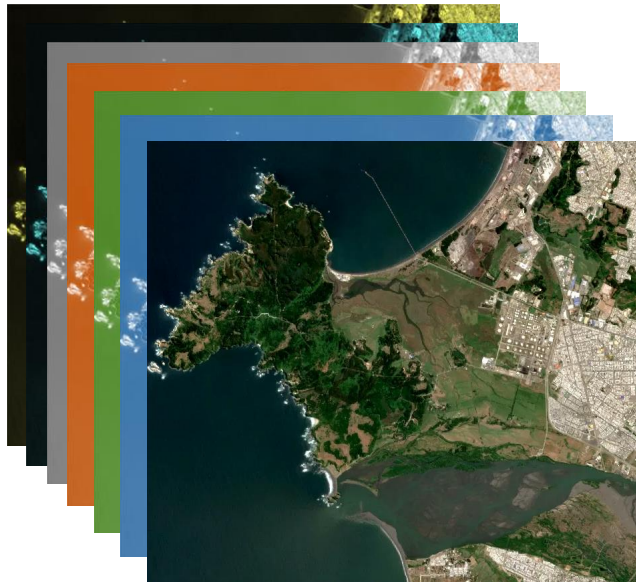




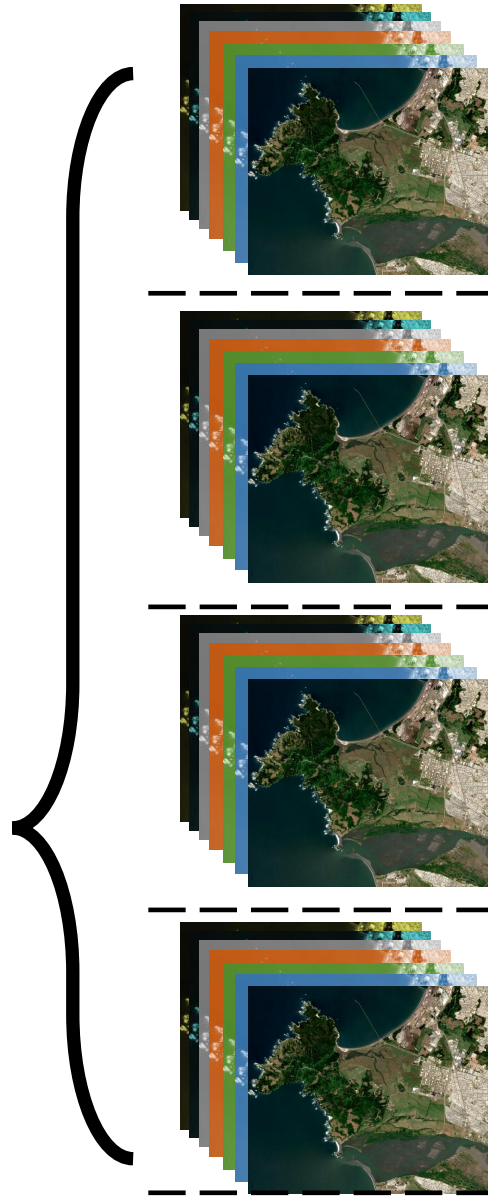
# Capas basales por temporada

## Incluye datos:

- Visibles RGB
- Infrarrojos
- Termales
- Radar
- Topografía



Imágenes históricas del año 2019 con una imagen cada 5 días (exceptuando topografía)



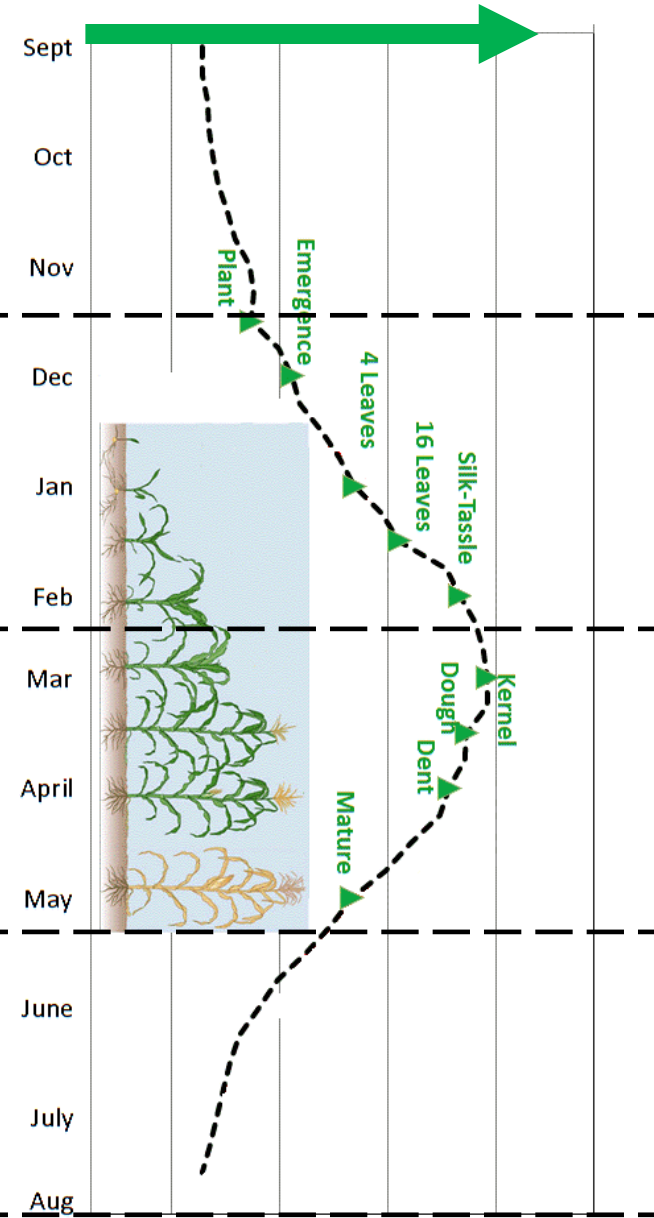
Mediana Primavera

Mediana Verano

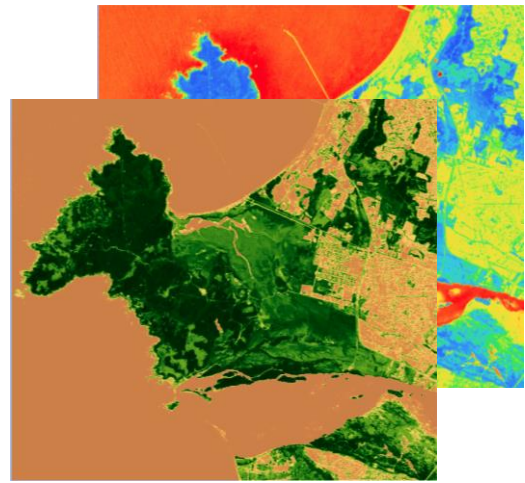
Mediana Otoño

Mediana Invierno

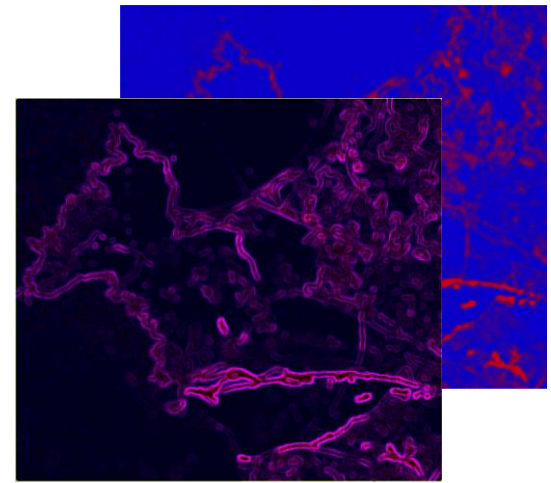
- Vigor fotosintético +



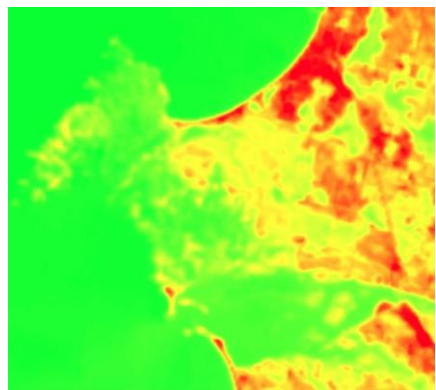
Índices Espectrales



Texturas y filtros



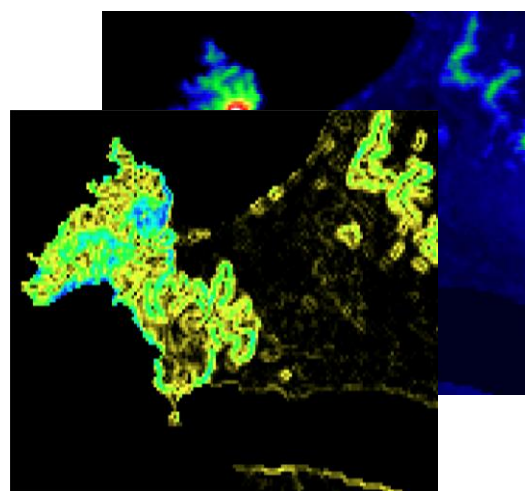
Temperatura de superficie



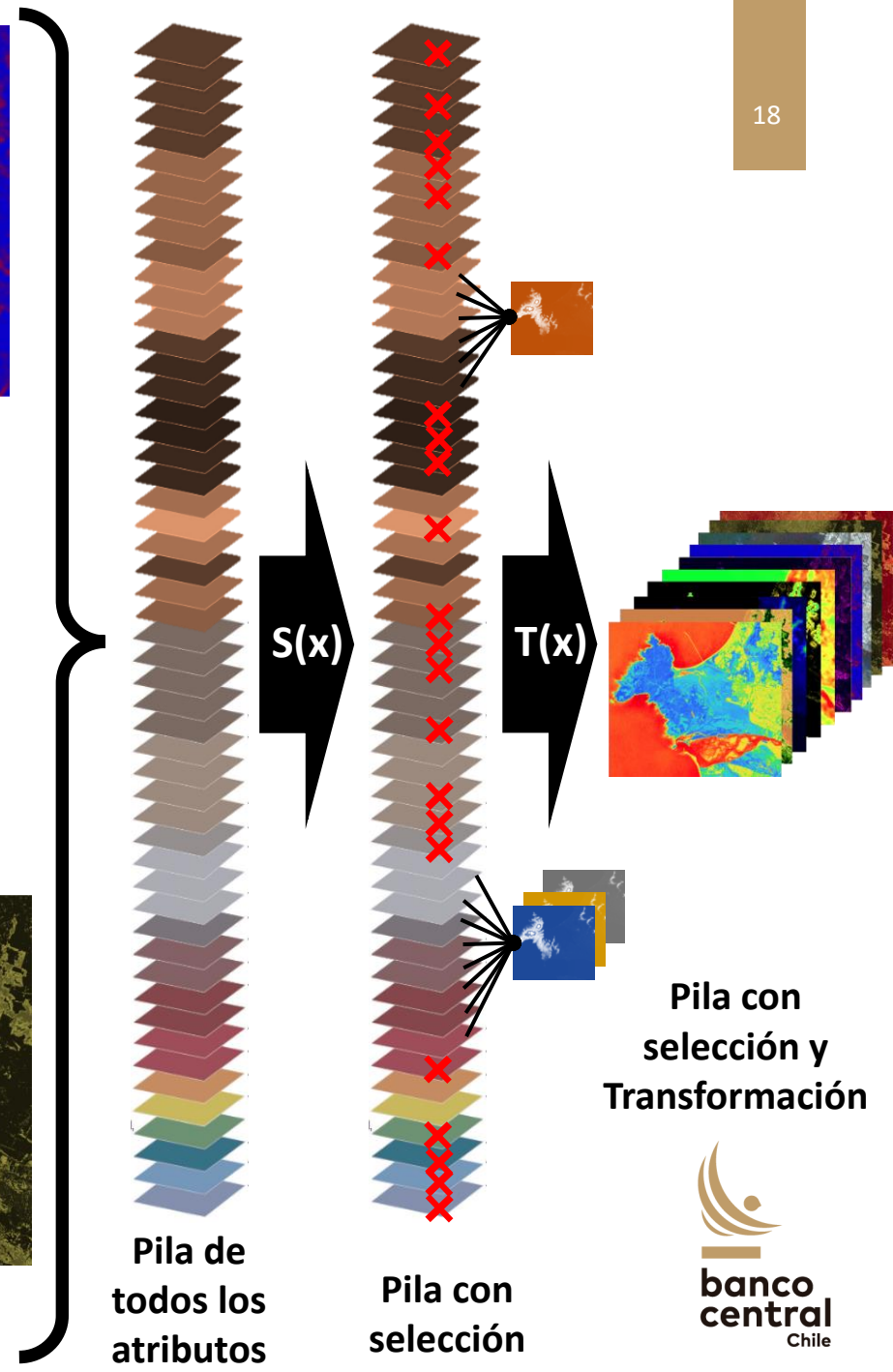
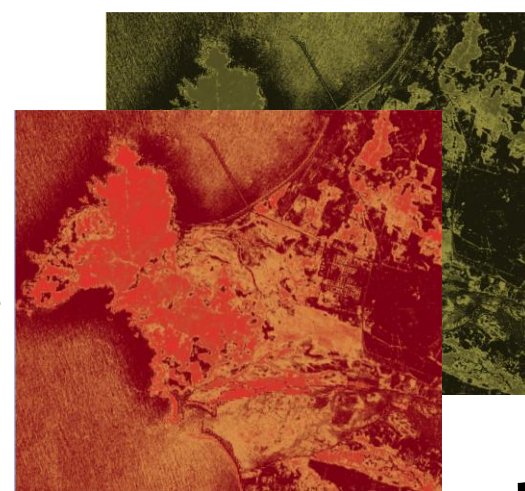
Estructura Radar



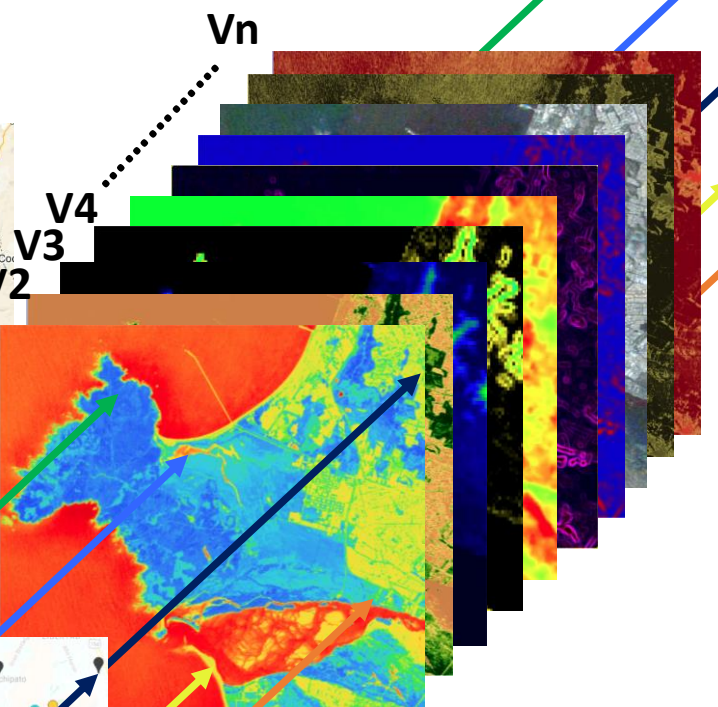
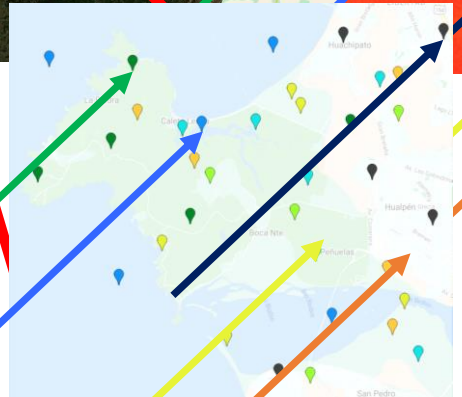
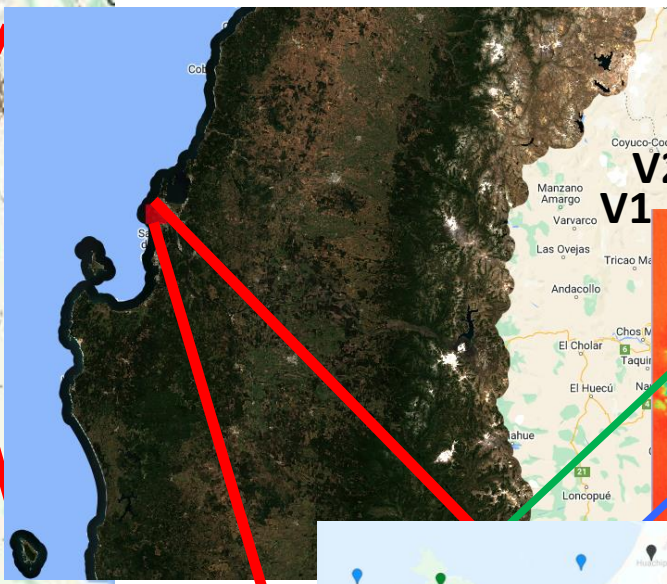
Atributos Topográficos



Métricas temporales y auxiliares



# Extracción espacial para etiquetas



## Generación de tabla consolidada para modelación

| CLASE    | LAT    | LON    | V1   | V2   | V3   | V4   | .... | Vn   |
|----------|--------|--------|------|------|------|------|------|------|
| Bosque   | -36,77 | -73,01 | 95   | 210  | 256  | 698  | .... | 22   |
| Agua     | -36,70 | -73,03 | 15   | 106  | 496  | 786  | .... | 85   |
| S. Art.  | -36,72 | -73,10 | 34   | 120  | 657  | 986  | .... | 80   |
| Suelo    | -36,81 | -73,01 | 49   | 154  | 321  | 598  | .... | 59   |
| Matorral | -36,80 | -73,03 | 58   | 183  | 254  | 984  | .... | 42   |
| ....     | ....   | ....   | .... | .... | .... | .... | .... | .... |

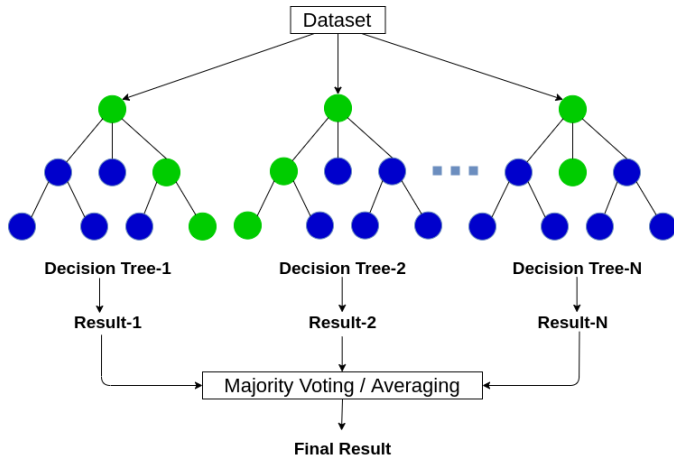
Extracción de valores de píxeles de atributos con coordenadas de etiquetas

Variable a predecir o producto

Variables predictivas o insumos



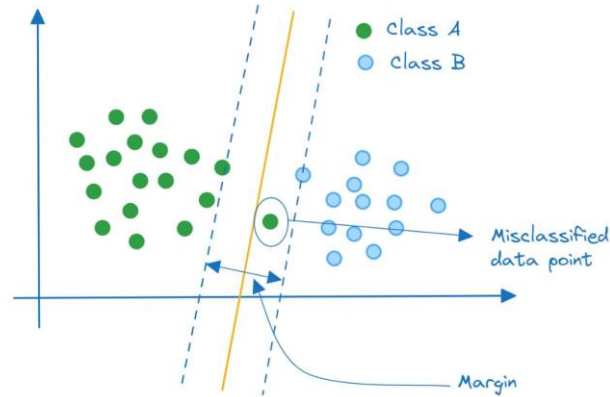
## Random Forest



**OA: 75 %**

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| Agua                 | 76 %        |
| Bosque               | 80 %        |
| Humedal              | 53 %        |
| Cultivo              | 70 %        |
| S. Artificial        | 65 %        |
| <b>Suelo Desnudo</b> | <b>90 %</b> |
| Matorral             | 33 %        |

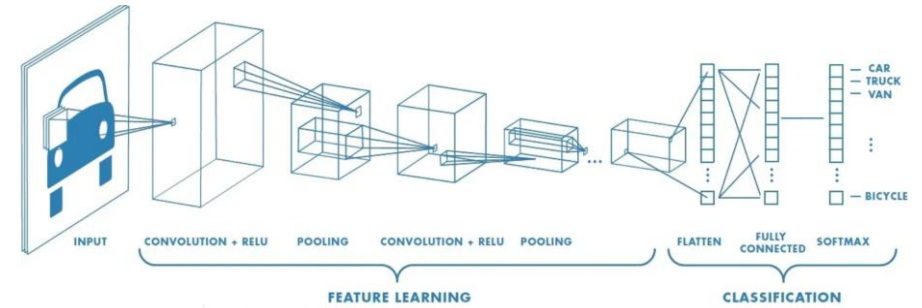
## Support Vector Machine



**OA: 73 %**

|                      |             |
|----------------------|-------------|
| Agua                 | 62 %        |
| <b>Bosque</b>        | <b>90 %</b> |
| Humedal              | 67 %        |
| Cultivo              | 55 %        |
| <b>S. Artificial</b> | <b>98 %</b> |
| Suelo Desnudo        | 66 %        |
| Matorral             | 50 %        |

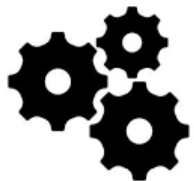
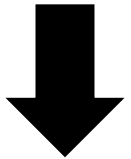
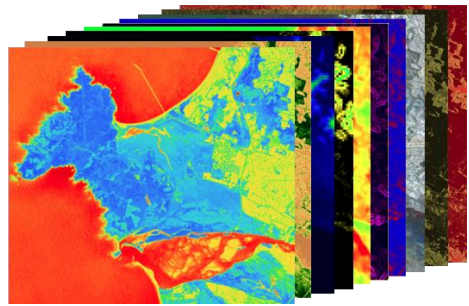
## Convolutional Neural Networks



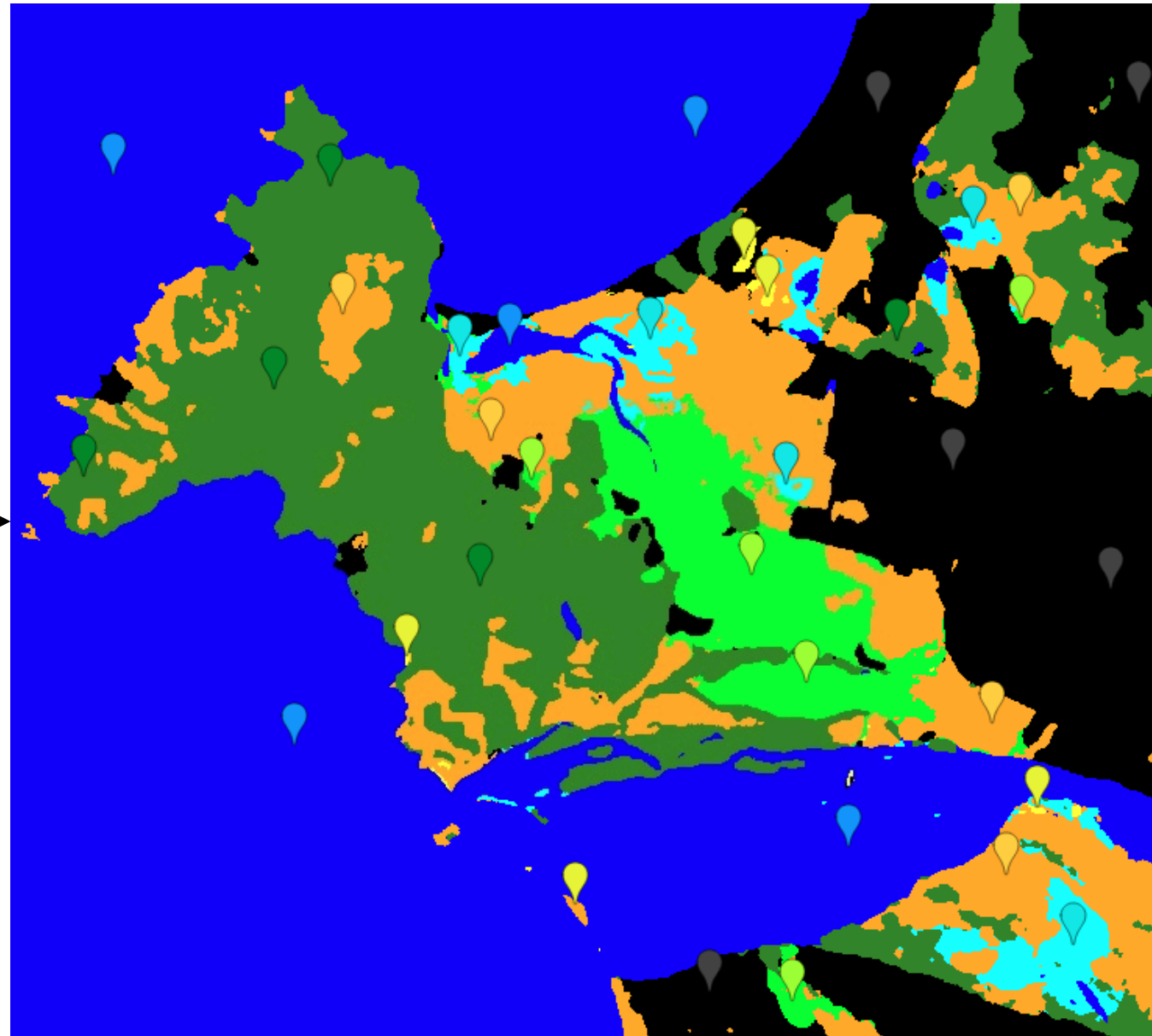
**OA: 86 %**

|                 |             |
|-----------------|-------------|
| <b>Agua</b>     | <b>80 %</b> |
| Bosque          | 89 %        |
| <b>Humedal</b>  | <b>90 %</b> |
| <b>Cultivo</b>  | <b>78 %</b> |
| S. Artificial   | 65 %        |
| Suelo Desnudo   | 85 %        |
| <b>Matorral</b> | <b>94 %</b> |

# Mapa LULC: Implementación del modelo



**Predicción espacial**



## Cobertura de Suelo

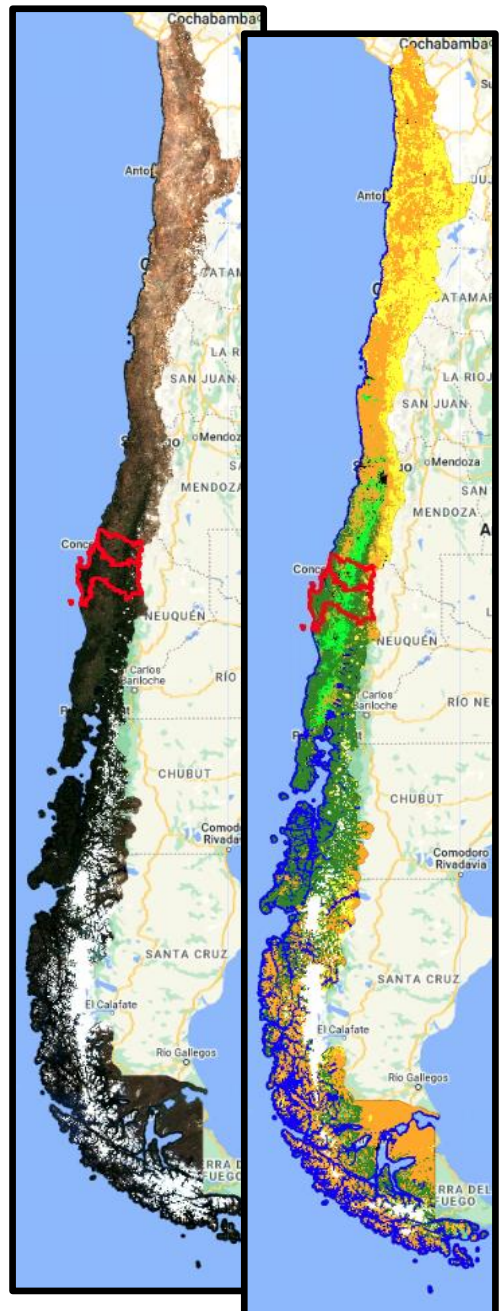
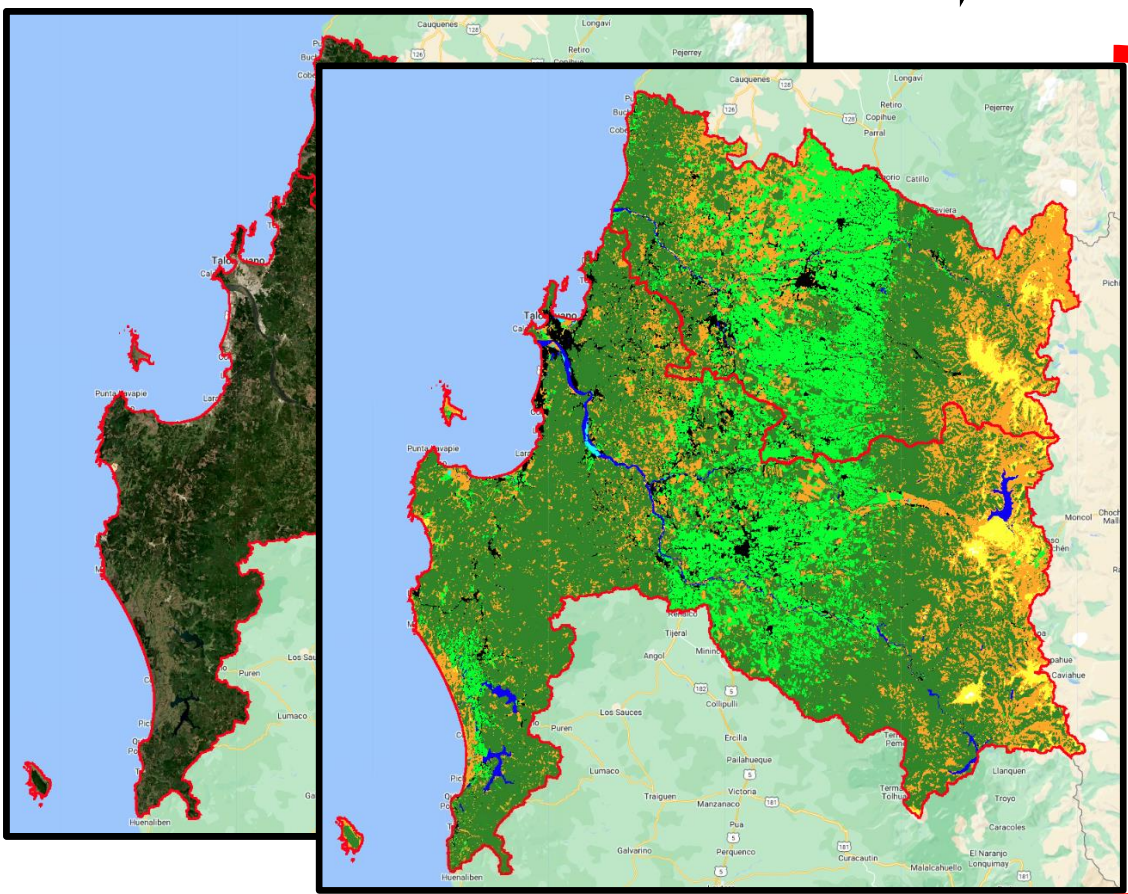
- Agua
- Bosque
- Humedal
- Cultivo
- Sup. Artificial
- Suelo Desnudo
- Matorrales

| Métricas de evaluación |       |
|------------------------|-------|
| Exactitud Global       | > 0,8 |
| Kappa                  | > 0,8 |
| .....                  | ..... |
| F1-Score               | > 0,8 |

# 1. Producto Piloto



# 2. Producto Nacional



### Cuenta física de la cobertura de la tierra

| Clase        | Stock apertura (ha) año 2019 |              |
|--------------|------------------------------|--------------|
| Agua         | 1.119.100                    |              |
| Bosque       | 14.737.486                   |              |
| ....         | .....                        | .....        |
| Hielo        | 2.352.215                    |              |
| <b>TOTAL</b> | <b>75.662.600</b>            | <b>.....</b> |

A partir de lo aprendido en el desarrollo del producto piloto, se realizará la expansión a nivel nacional



A glass globe on a stand, centered on the map of Africa. The globe is set against a background of a light blue grid with faint red lines. The globe is illuminated from the top, creating a bright spot at the top and a shadow on the stand below.

### 3. Potenciales usos |

# Utilidad práctica de los mapas de cobertura y uso de suelo.

## Estadísticas Macroeconómicas

- Valor del suelo como activo económico (SNA).
- Cuentas del suelo (SEEA CF).
- Cuentas de extensión y condición de ecosistemas (SEEA EA).
- Cuentas de servicios ecosistémicos (SEEA EA).

## Monitoreo del Capital Natural

- Detección de cambios en cobertura de la tierra.
- Detección de cambios en cobertura de ecosistemas.

## Análisis de Riesgos del Sistema Financiero

- Indicadores sectoriales y específicos de riesgo físico del cambio climático y naturaleza.
- Indicadores sectoriales y específicos de riesgo de transición del Cambio Climático y naturaleza.

## Políticas Públicas

- Instrumentos de planificación territorial.
- Evaluación social de proyectos públicos.
- Instrumentos ambientales (subsídios, impuestos).



## 4. Comentarios finales



# Comentarios finales

El proyecto **capital natural del Banco Central de Chile** forma parte del plan estratégico de la institución (2023-2027) y avanza de acuerdo a lo programado.

El piloto de mapa de cobertura y uso de suelo es el **primer producto asociado a este proyecto**, y estará disponible a finales del 2024.

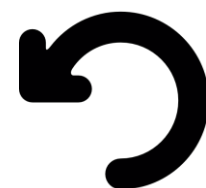
El mapa de cobertura y uso de suelo **a escala nacional** estará disponible durante el 2025.

# Avances del proyecto capital natural: **Mapas de Cobertura y Uso de suelo**

Enrique Calfucura, Andrés Ceballos y Federico Natho

Departamento de Estadísticas Experimentales – Gerencia de Estadísticas Macroeconómicas

# Clasificación de uso y cobertura de suelo (clases)



|                                 | Arica y Parinacota | Tarapacá  | Antofagasta | Atacama   | Coquimbo  | Valparaíso | RM        | O'Higgins | Maule     | Ñuble     | Biobío    | La Araucanía | Los Ríos  | Los Lagos | Aysén     | Magallanes |
|---------------------------------|--------------------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Bosques siempreverde            |                    |           |             |           | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         | X         | X          |
| Bosques caducifolio             |                    |           |             |           |           | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         |           |            |
| Bosques exótico-nativo          |                    |           |             |           |           | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         |           |            |
| Matorrales nativos              | X                  | X         | X           | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         | X         | X          |
| Matorrales exóticos-nativos     |                    |           |             |           |           | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         |           |            |
| Praderas anuales                | X                  | X         | X           | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         |              |           |           |           |            |
| Praderas siempreverdes          |                    |           |             |           |           |            |           |           |           | X         | X         | X            | X         | X         | X         | X          |
| Cultivos herbáceos              | X                  | X         | X           | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         | X         | X          |
| Plantación de coníferas         |                    |           |             |           |           | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         | X         |            |
| Plantación de eucaliptus        |                    |           |             |           |           | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         |           |            |
| Otras plantaciones              |                    |           |             |           |           | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         |           |            |
| Cultivos frutales siempre verde |                    |           |             | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         |              |           |           |           |            |
| Cultivos frutales caduca        |                    |           |             | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         |           |           |            |
| Humedales                       | X                  | X         | X           | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         | X         | X          |
| Turberas                        |                    |           |             |           |           |            |           |           |           |           |           |              |           | X         | X         | X          |
| Cuerpos y cursos de agua        | X                  | X         | X           | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         | X         | X          |
| Suelo desnudo                   | X                  | X         | X           | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         | X         | X          |
| Arenas                          | X                  | X         | X           | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         | X         | X          |
| Rocas y Gravas                  | X                  | X         | X           | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         | X         | X          |
| Salares                         | X                  | X         | X           | X         | X         |            |           |           |           |           |           |              |           |           |           |            |
| Glaciares y nieve               | X                  | X         | X           | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         | X         | X          |
| Superficies construidas         | X                  | X         | X           | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         | X         | X          |
| Minería                         | X                  | X         | X           | X         | X         | X          | X         | X         | X         | X         | X         | X            | X         | X         | X         | X          |
| <b>TOTAL</b>                    | <b>12</b>          | <b>12</b> | <b>12</b>   | <b>14</b> | <b>15</b> | <b>20</b>  | <b>20</b> | <b>20</b> | <b>20</b> | <b>21</b> | <b>21</b> | <b>19</b>    | <b>19</b> | <b>19</b> | <b>14</b> | <b>13</b>  |