



**Geographic Mapping Technologies, Corp.**

Soluciones Avanzadas en Sistemas de Información Geográfica

## **Integración de tecnología de percepción remota y GIS en la generación del mapa de uso de suelo para Puerto Rico 2010**

**8va Reunión de PRYSIG  
Universidad de Puerto Rico  
Recinto de Mayagüez**

*Glenda Román y Ernesto Carreras*

[groman@gmtgis.com](mailto:groman@gmtgis.com)

[ecarreras@gmtgis.com](mailto:ecarreras@gmtgis.com)

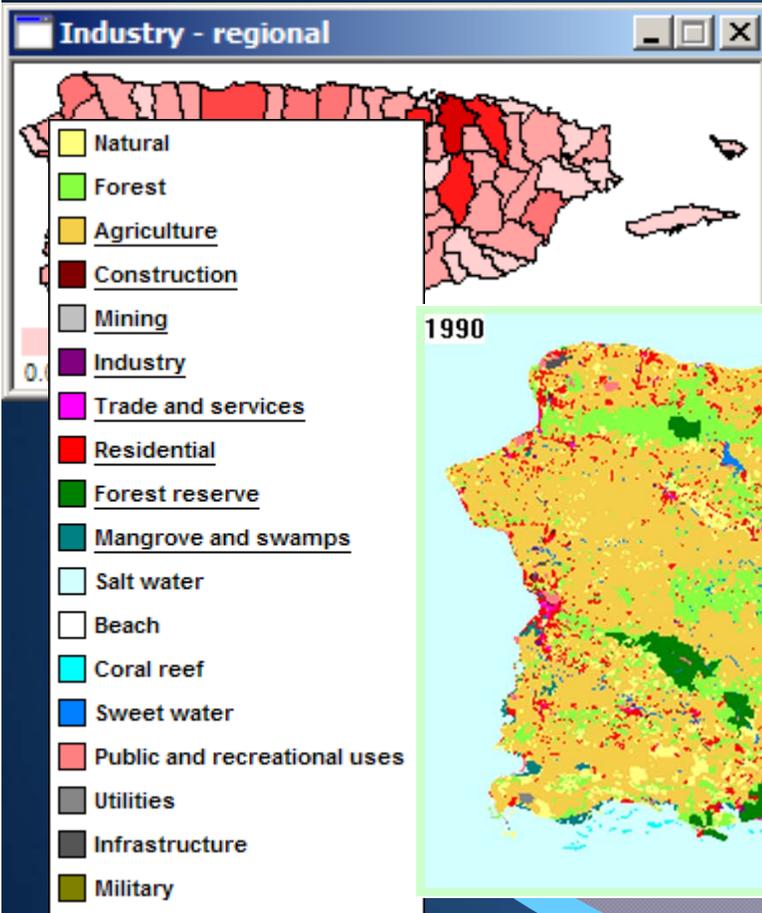
# CONTENIDO

- ¿Qué es Xplorah?
- Creación de mapa de uso de suelo
  - Esquema de clasificación
  - Creación del grid de interpretación
    - NDVI
    - Modelos de geoprocésamiento ArcGIS
  - Metodología de interpretación
  - Cálculo de error de clasificación
  - Generación del mapa
    - Funciones GIS
  - Resultados

## ¿Qué es Xplorah?

- Iniciativa conjunta gubernamental y privada
  - Junta de Planificación de Puerto Rico
  - Escuela Graduada de Planificación de la Universidad de Puerto Rico
  - Servicio Forestal de Estados Unidos
  - RIKS (Holanda)
  - VITO (Bélgica)
  - Geographic Mapping Technologies, Corp. (Puerto Rico)
- Sistema de apoyo a la toma de decisiones sobre el uso del territorio.
- Explorar diversos escenarios de políticas de uso de la tierra
- Modelar cambios en el uso de la tierra en función de variables sociales, económicas y ambientales.

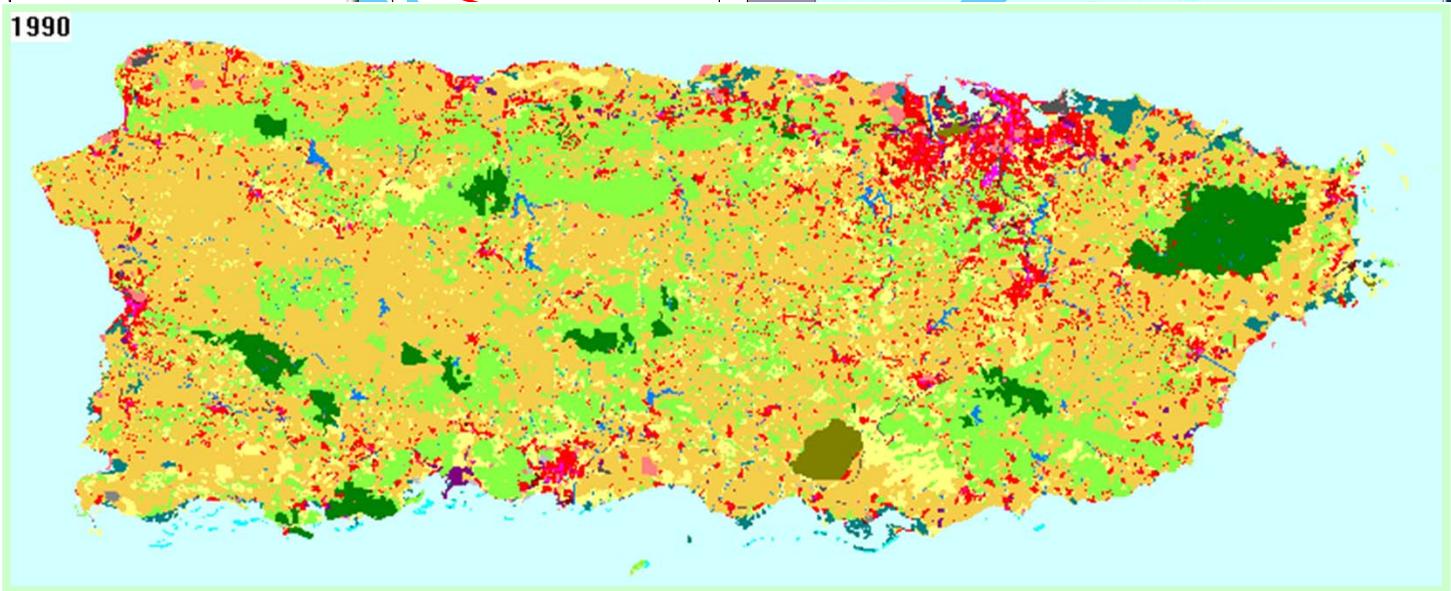
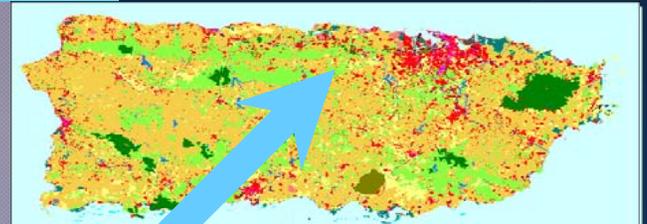
# Capturando las dinámicas del uso del suelo



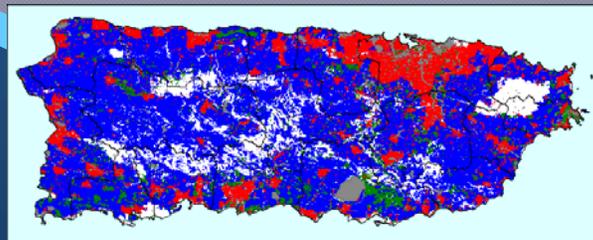
Modelos probabilísticos

$$v = 1 + (-\ln[\text{rand}])^\alpha$$

Uso en tiempo T+1

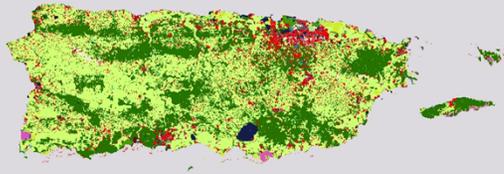


&

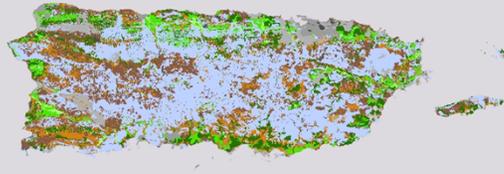


# Requisitos del Modelo Xplorah

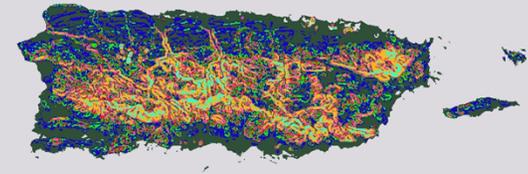
LANDUSE Map 1977\_87



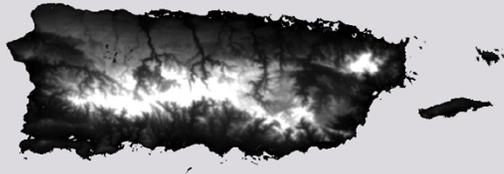
Agriculture Capacity Map



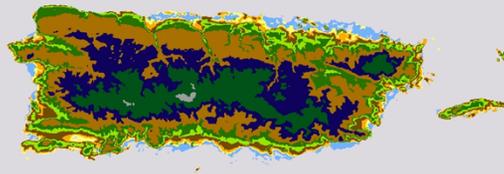
Slopes Map



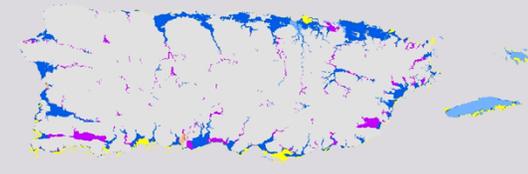
Elevation Map



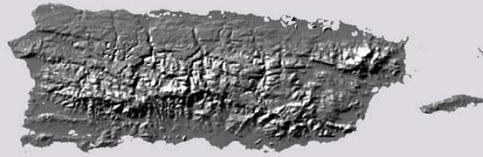
Elevation Map



Flood Zones Map



Hillshade Map



Lowlands Map



# Requisitos del Modelo Xplorah

- Fundamental en el modelo son dos mapas de uso de suelo de alta calidad.
  - Mapa de uso 2003
  - Mapa de uso 2010
- Calibración del modelo
- Esquema de clasificación debe considerar clases relacionadas al modelo macro-económico.
- Mapas creados combinando técnicas de percepción remota y análisis espacial.

# Esquema de Clasificación

- Total de 21 clases
- Desarrollado en conjunto
  - Escuela Graduada de Planificación de la UPR-Río Piedras
  - Departamento de Geografía de la UPR-Río Piedras
  - GMT, Corp.
- Basado en el sistema de clasificación del Departamento de Recursos Naturales y Ambientales de PR, a su vez basado en Anderson del Servicio Geológico de los EUA



	NATURAL
	FOREST
	AGRICULTURE
	CONSTRUCTION
	MINING
	INDUSTRIAL
	HIGH-DENSITY TRADE AND SERVICES
	HIGH-DENSITY RESIDENTIAL
	FOREST RESERVES
	MANGROVES AND SWAMPS
	SEA
	BEACH
	CORAL REEFS
	WATER RESOURCES
	PUBLIC AND RECREATION
	UTILITIES
	INFRASTRUCTURE
	ROCKY CLIFFS AND SHELVES
	RANGELANDS
	LOW-DENSITY TRADE AND SERVICES
	LOW-DENSITY RESIDENTIAL

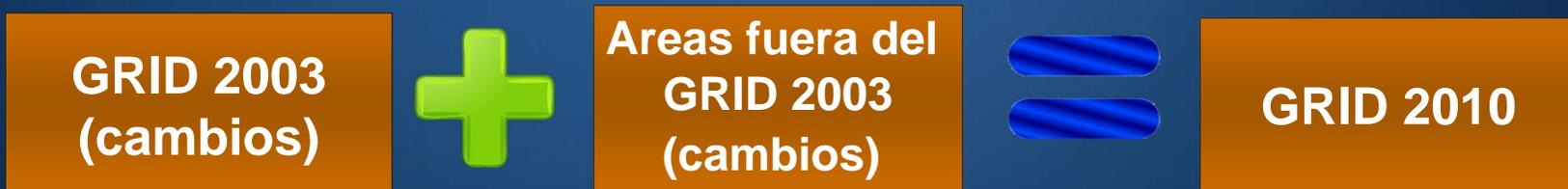
## Reglas de Precedencia

- Se asignó mayor prioridad a los usos menos predominantes sobre el territorio.
- Prioridades asignadas en función de su importancia relativa en el modelo socio-económico de Xplorah.
- Método estructurado, objetivo y cuantitativo. En zonas de transición las reglas de transición asignan sistemáticamente el USO.

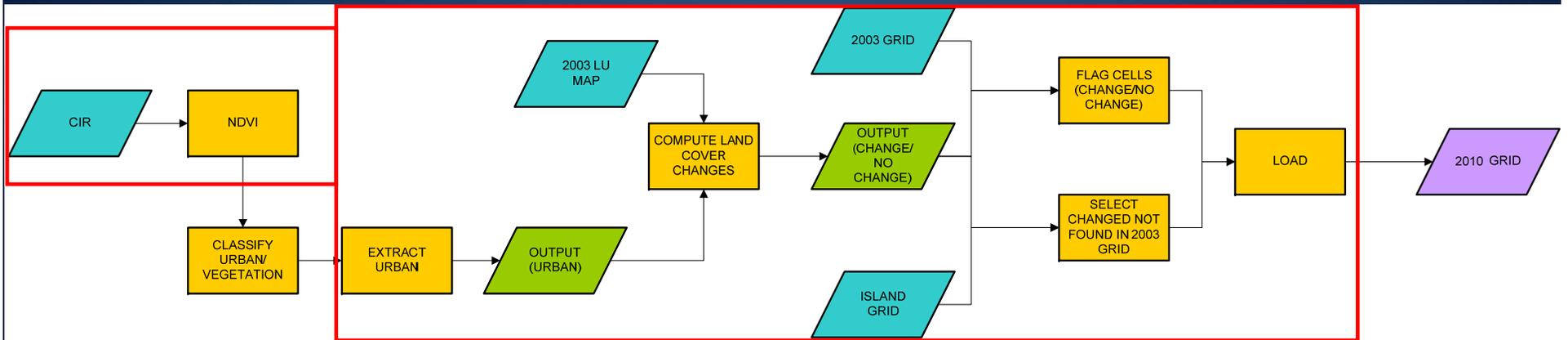
Priority	Class
1	Utilities
2	Public and Recreation
3	Construction
4	Mining
5	Industry
6	Infrastructure
7	Trade and Services
8	Residential

# Creación de cuadrícula (grid) de interpretación 2010

- Contamos con una cuadrícula base (2003) (~4.5 millones de celdas de 15 metros)
- Requisitos cuadrícula 2010:
  - Cuadrícula 2010 debe coincidir (extent y tamaño de celda) con la cuadrícula de interpretación 2003
  - Cuadrícula consiste únicamente de las áreas a interpretar
    - Areas interpretadas en 2003 cuyo uso cambió
    - Areas fuera de la cuadrícula 2003 (transiciones cobertura vegetal a urbana y transiciones clases naturales)

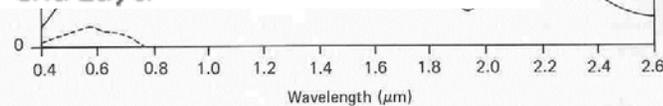


# Creación de cuadrícula (grid) de interpretación 2010



XPLORAH\_2010

- 1) Identify Urban Change
  - 1) Reclassify NDVI - Urban/Vegetation
  - 2) Resample Urban/Vegetation Raster
  - 3) Validate Urban/Vegetation Raster
    - 3-1) Updates GRID Feature Class
    - 3-2) Select By Location CartoPR Buffer
    - 3-4) Calculate Values
  - 4) Create New Validated Urban/Vegetation raster
  - 5) Mosaic Reclass and Validated Rasters
  - 6) Extract Urban Class
  - 7) Identify Urban Change
- 2) Create 2010 Grid Layer



# Calcular NDVI - ENVI



# Reclasificar

- Urban vs Vegetación



# Resample - 15 m

- Celdas de 30 cm a 15 m



# Refinar Visualmente

- Añadir/Eliminar celdas; principalmente transiciones naturales que no se capturan con el NDVI



# Calcular cambios

- Calcular cambios uso/cobertura comparando espacialmente (celda por celda) mapa del 2003 con resultado preliminar 2010.



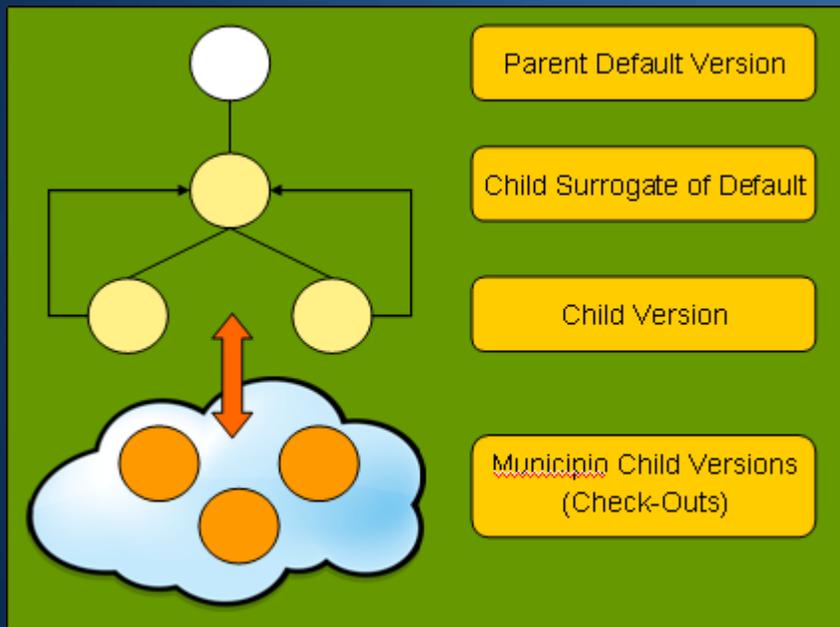
# Cuadrícula de interpretación

- Cuadrícula 2010 compuesta de un total de ~13 millones de celdas de 15 m



# Diseño BdDs

- Asignación de Subtipos y Dominios
- Arquitectura Versionada



### Components of the geodatabase

Data produced for the Xplorah geodatabase

- Polygon feature class XPLORAH.GISADMIN.Clasiificacion\_Mapa\_2003**: 15x15 grid that classifies all urban areas of the map. Subtypes are INDUSTRY, INFRASTRUCTURE, PUBLIC AND RECREATION, RESIDENTIAL, TRADE AND SERVICE, UTILITIES, CONSTRUCTION, MINING, NATURAL, FOREST, AGRICULTURE, FOREST RESERVES, MANGROVES AND SWAMPS, SEA, BEACH, CORAL REEF, WATER RESOURCE, ROCKY CLIFFS AND SHELVES.
- Polygon feature class XPLORAH.GISADMIN.PRGPAP\_Urbano\_Vector**: Vector format representation of the Base Map.
- Polygon feature class XPLORAH.GISADMIN.Regiones**: Regions used for work distribution.

### Xplorah geodatabase data details

Components descriptions that compose the geodatabase

**Simple feature class XPLORAH.GISADMIN.Clasiificacion\_Mapa\_2003**: 15x15 grid that classifies all urban areas of the map. Contains 2 values: No. Geometry: Polygon. Contains M values: No. Contains Z values: No.

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID	Yes					
CLASIFICACION	Short integer	Yes	7		5		
SUBCLASE	String	Yes			50		
CODIGO_PRGPAP	Double	Yes			38	8	
DESCRIPCION_PRGPAP	String	Yes			50		
REGION	String	Yes			50		
SUBREGION	String	Yes			50		
OIDMUN	Short integer	No	0	0	38		
EditorName	String	Yes			50		
VersionName	String	Yes			50		
LastUpdate	Date	Yes			0	38	
QC_VALIDACION	Short integer	Yes		QC_GA	5		
Shape	Geometry	Yes					
Shape area	Double	No			0	0	
Shape len	Double	No			0	0	

17 classification subtypes, available for selection by the editor. Subclasses filtered by their classes and defined by domains. Original Base Map classification codes. Original Base Map classification descriptions. Regions to which each municipality belongs to. Attribute used for the work distribution. Unique ID required for data replication process. Identifies the editor who classified the grid. Identifies the version used to classify the grid. Date in which the classification was defined. Identifies the grid cells used in the QC process.

**Subtypes of XPLORAH.GISADMIN.Clasiificacion\_Mapa\_2003**: List of defined default values and domains for subtypes in this class. Default subtype: 7.

Subtype code	Subtype Description	Field name	Default value	Domain
5	INDUSTRY	SUBCLASE	PARQUE INDUSTRIAL	INDUSTRY
16	INFRASTRUCTURE	SUBCLASE	CARRETERA	INFRASTRUCTURE
14	PUBLIC AND RECREATION	SUBCLASE	PARQUE	PUBLIC
7	RESIDENTIAL	SUBCLASE	NA	
9	TRADE AND SERVICE	SUBCLASE	FRANJA COMERCIAL	TRADE AND SERVICES
15	UTILITIES	SUBCLASE	ELECTRICIDAD	UTILITIES
3	CONSTRUCTION	SUBCLASE	NA	
4	MINING	SUBCLASE	CANTERA	MINING
0	NATURAL	SUBCLASE	NA	
1	FOREST	SUBCLASE	NA	
2	AGRICULTURE	SUBCLASE	NA	
8	FOREST RESERVES	SUBCLASE	NA	
9	MANGROVES AND SWAMPS	SUBCLASE	NA	
10	SEA	SUBCLASE	NA	
11	BEACH	SUBCLASE	NA	
12	CORAL REEF	SUBCLASE	NA	
13	WATER RESOURCE	SUBCLASE	FRESH WATER	WATER RESOURCES
17	ROCKY CLIFFS AND SHELVES	SUBCLASE	NA	

**Simple feature class XPLORAH.GISADMIN.PRGPAP\_Urbano\_Vector**: Vector format representation of the Base Map. Contains M values: No. Contains Z values: No.

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID	Yes					
ID	Double	Yes			10	0	
GRIDCODE	Double	Yes			10	0	
Shape	Geometry	Yes					
Shape area	Double	No			0	0	
Shape len	Double	No			0	0	

**Simple feature class XPLORAH.GISADMIN.Regiones**: Regions used for work distribution. Contains M values: No. Contains Z values: No.

Field name	Data type	Allow nulls	Default value	Domain	Precision	Scale	Length
OBJECTID	Object ID	Yes					
POLO	String	Yes					9
Shape	Geometry	Yes					

**Coded value domain INDUSTRY**: Description: INDUSTRY. Field type: String. Split policy: Duplicate. Merge policy: Default value. Codes: PARQUE INDUSTRIAL. Description: PARQUE INDUSTRIAL.

**Coded value domain INFRASTRUCTURE**: Description: INFRASTRUCTURE. Field type: String. Split policy: Duplicate. Merge policy: Default value. Codes: CARRETERA, AEROPUERTO, TREN. Description: CARRETERA, AEROPUERTO, TREN.

**Coded value domain PUBLIC**: Description: PUBLIC AND RECREATION. Field type: String. Split policy: Duplicate. Merge policy: Duplicate. Codes: INSTALACION DEPORTIVA, PARQUE, CAMPO DE GOLF. Description: INSTALACION DEPORTIVA, PARQUE, CAMPO DE GOLF.

**Coded value domain TRADE AND SERVICES**: Description: TRADE AND SERVICE. Field type: SERVICES. Split policy: String. Merge policy: Default value. Codes: COMERCIAL CENTRO URBANO, COMERCIO DE CHATARRA, COLIBRO, HOSPERERIA, CENTRO COMERCIAL, FRANJA COMERCIAL, DOTACION. Description: COMERCIAL CENTRO URBANO, COMERCIO DE CHATARRA, COLIBRO, HOSPERERIA, CENTRO COMERCIAL, FRANJA COMERCIAL, DOTACION.

**Coded value domain UTILITIES**: Description: UTILITIES. Field type: String. Split policy: Duplicate. Merge policy: Default value. Codes: AGUA, COMUNICACIONES, ELECTRICIDAD, VERTEDERO, FARGO. Description: AGUA, COMUNICACIONES, ELECTRICIDAD, VERTEDERO, FARGO.

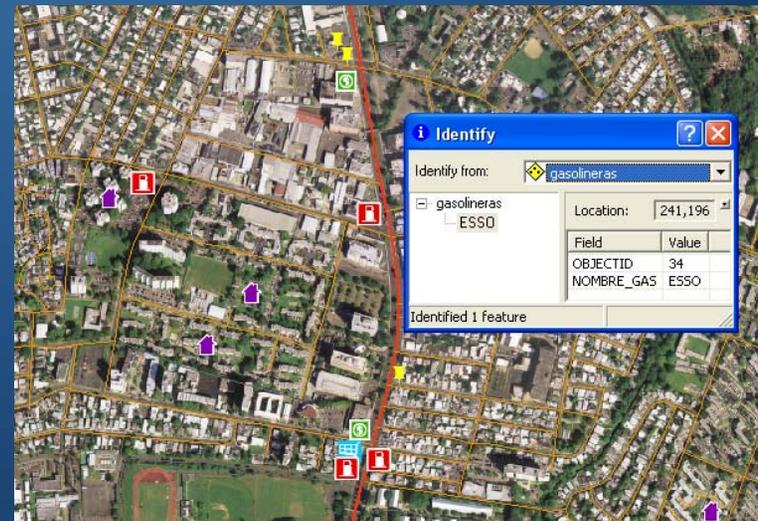
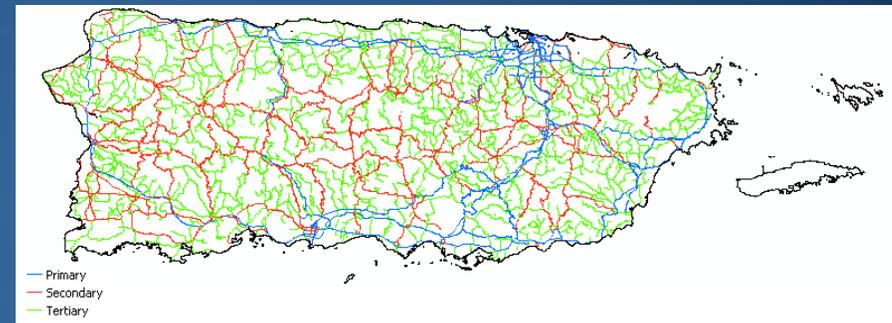
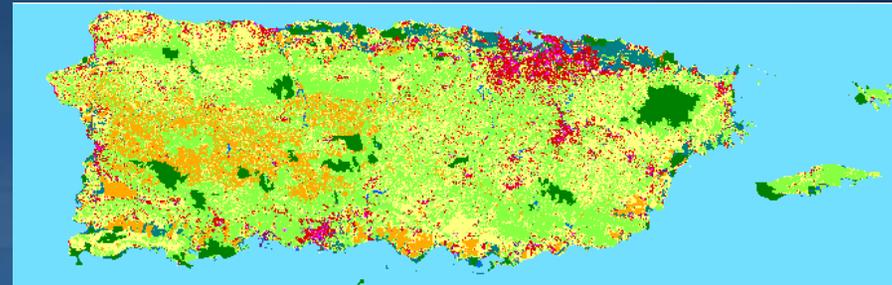
**Coded value domain MINING**: Description: MINING. Field type: String. Split policy: Duplicate. Merge policy: Default value. Codes: GRAVA Y ARENA, ARENA DE PLAYA, CANTERA, SALINA, TOSQUERO. Description: GRAVA Y ARENA, ARENA DE PLAYA, CANTERA, SALINA, TOSQUERO.

**Coded value domain WATER RESOURCES**: Description: WATER. Field type: RESOURCES. Split policy: String. Merge policy: Default value. Codes: FRESH WATER. Description: FRESH WATER.

# Metodología de Interpretación

- Datos de referencia:
  - CartoPR
  - Mapa 2003

<input checked="" type="checkbox"/> residenciales	<input type="checkbox"/> defensa_civil
	
<input checked="" type="checkbox"/> policia_estatal	<input type="checkbox"/> escuelas
	
<input type="checkbox"/> aeropuertos	<input type="checkbox"/> hospitales
	
<input type="checkbox"/> bancos	<input type="checkbox"/> policia_municipal
	
<input type="checkbox"/> tiendas	<input type="checkbox"/> puertos
	
<input type="checkbox"/> farmacias	<input checked="" type="checkbox"/> ATHS
	
<input type="checkbox"/> bomberos	<input checked="" type="checkbox"/> gasolineras
	
<input type="checkbox"/> centro_manejo_emerg	<input checked="" type="checkbox"/> fast_foods
	
<input type="checkbox"/> centro_salud	<input checked="" type="checkbox"/> supermercados
	
<input type="checkbox"/> cuarteles_guardia_nac	
	
<input type="checkbox"/> cuerpos_emerg_med	
	



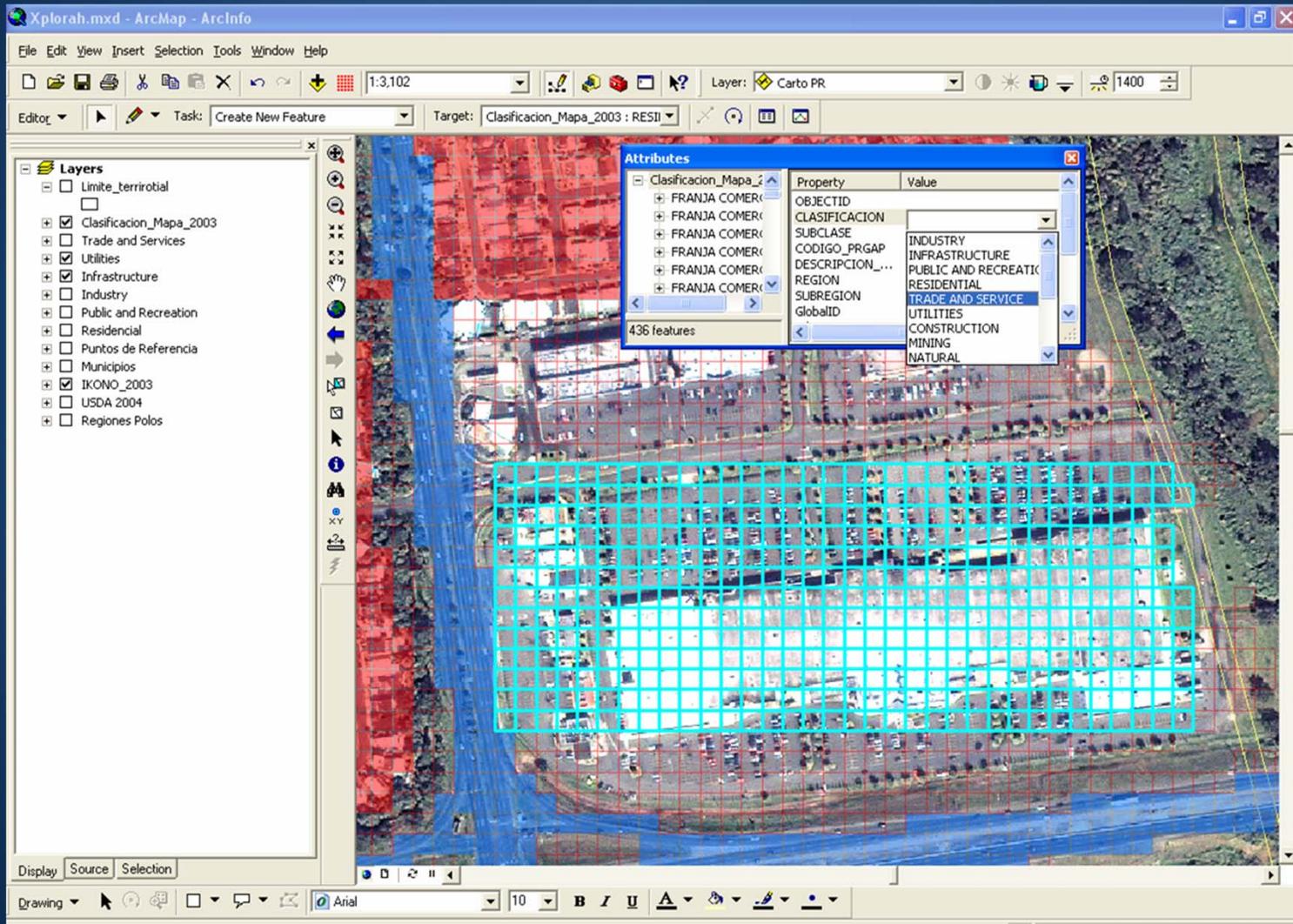
# Metodología de Interpretación

- Fotografía aérea 2009-2010 a 30 cm de resolución



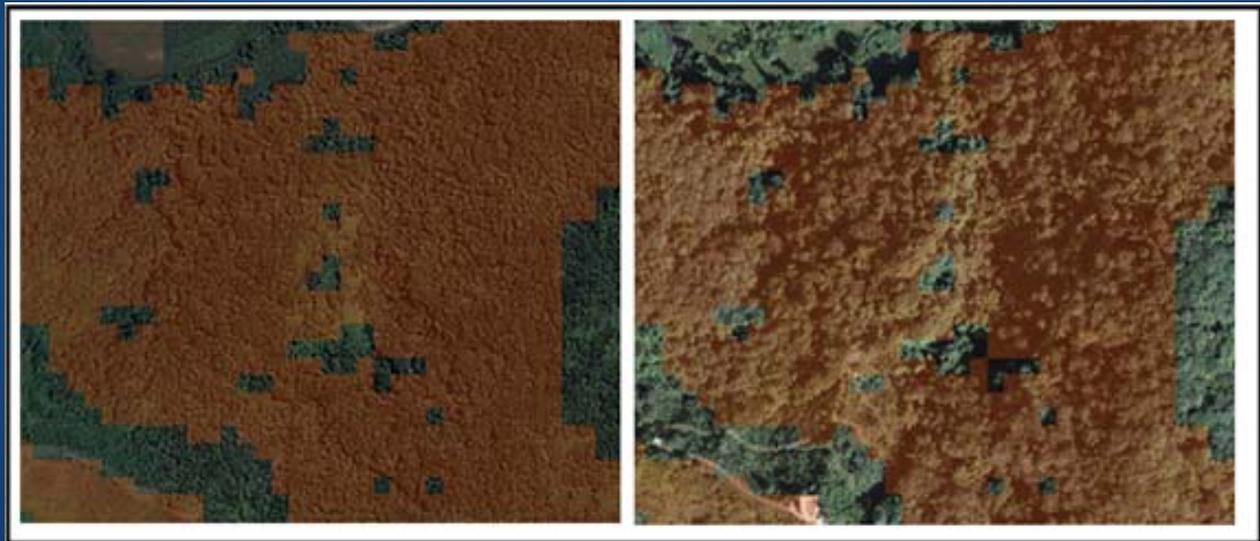
# Metodología de Interpretación

- Interpretación Visual



## Corrección Agricultura-Bosque

- La interpretación del 2003 se circunscribió únicamente a lo definido como urbano en el PRGAP
- La interpretación del 2010 requirió la revisión de toda la isla, incluyendo coberturas clasificadas por el PRGAP (i.e. agricultura)
- PRGAP, en su definición para la clase agrícola, agrega agricultura en activa e inactiva.



**Figure 36. IKONOS 2001-2003 and 2010 aerial photo comparison of PRGAP class number 29 and 43. Region shown is located in the municipality of Las Marías in Puerto Rico's Central Region. The areas in orange correspond to agricultural areas as derived from the PRGAP land cover map overlaid with IKONOS 2001-2003 imagery (Left) and 2010 aerial photos (Right). Note that the dominant land cover is forest both in 2003 (Left) and 2010 (Right).**

# Corrección Agricultura-Bosque

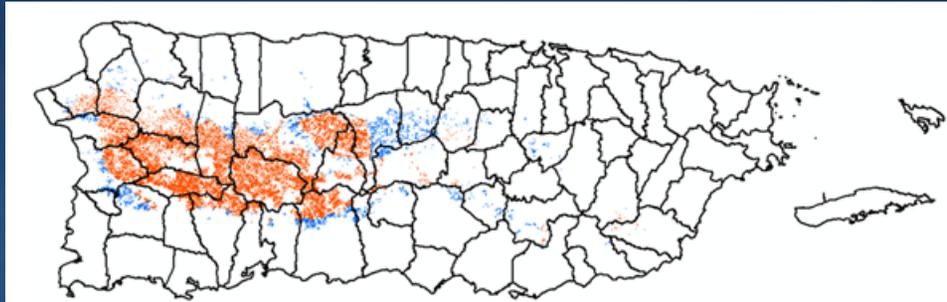


Figure 37. Extent of PRGAP class number 29 and 43. Shown in blue is the Lowland moist abandoned and active coffee plantation (29) class. Shown in red orange is the Montane wet evergreen abandoned and active coffee plantation (43) class. The extent of both these classes covers 40 municipios across the western and central parts of the Island.

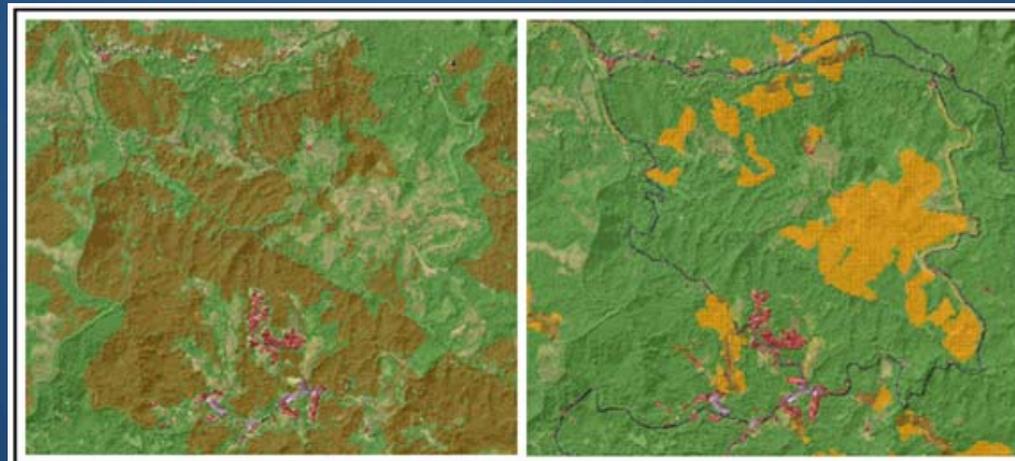
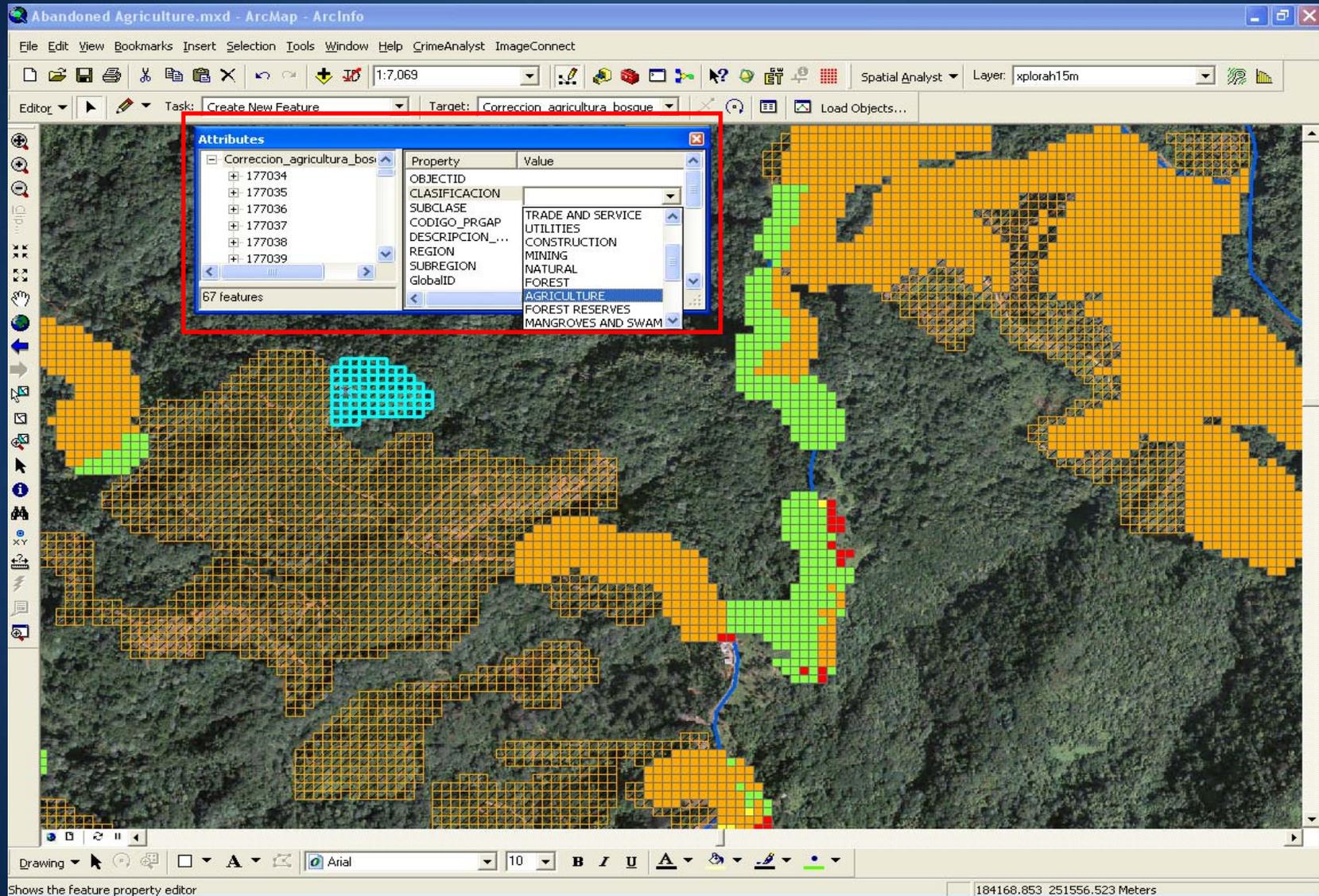


Figure 38. Agriculture and Forest class correction. Region shown is located in the municipality of Utuado in Puerto Rico's Central Region. (Left) Xplorah 2003 land use map. (Right) Xplorah 2010 land use map. Notice areas classified as agriculture (shown in orange) in the 2003 Xplorah land use map as derived from the PRGAP land cover map. These same areas were reclassified as forest (shown in green) in the 2010 Xplorah land use map. This approach effectively reduced the number of cells added to the interpretation grid, thus reducing interpretation time per municipio.

# Corrección Agricultura-Bosque



Shows the feature property editor

184168.853 251556.523 Meters

# Cálculo de error de clasificación

- Fase de QC/QA
  - Re-interpretación para clases naturales
  - Trabajo de campo para clases urbanas
- Determinación de muestra:
  - Binomial probability theory (Fitzpatrick-Lins 1981)

Where,

N = number of sample points

p = expected or calculated accuracy

q = 100 - p

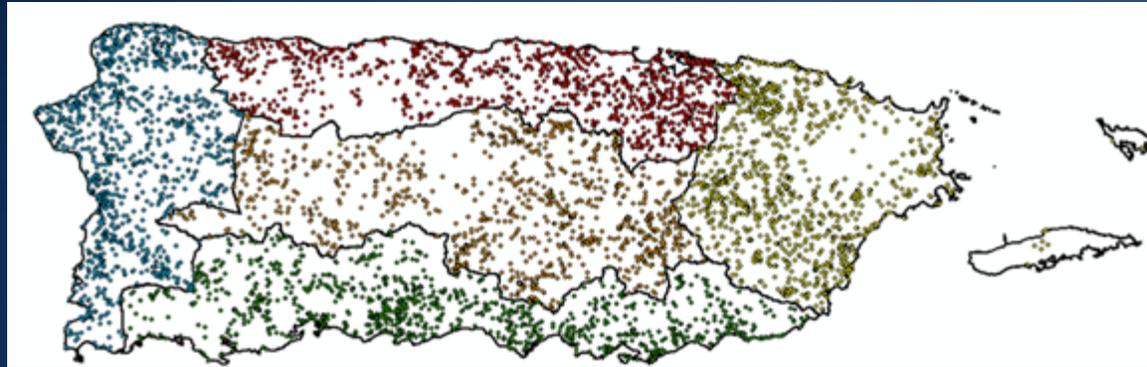
E = allowable error

Z = standard normal deviate for the 95% two-tail confidence level (1.96)

$$N = \frac{Z^2 pq}{E^2}$$

- Asignación de muestras basado en la proporción del área cubierto por cada clase(Gould et al., 2007)
- Para aquellas clases cuyo total de clases era inferior a 50 se asignó un total de 50 muestras por defecto según Congalton (1991) y Congalton and Green (1999).
- Se construyeron matrices de error global y para 5 regiones de interpretación (Norte, Sur, Este, Oeste, Centro)

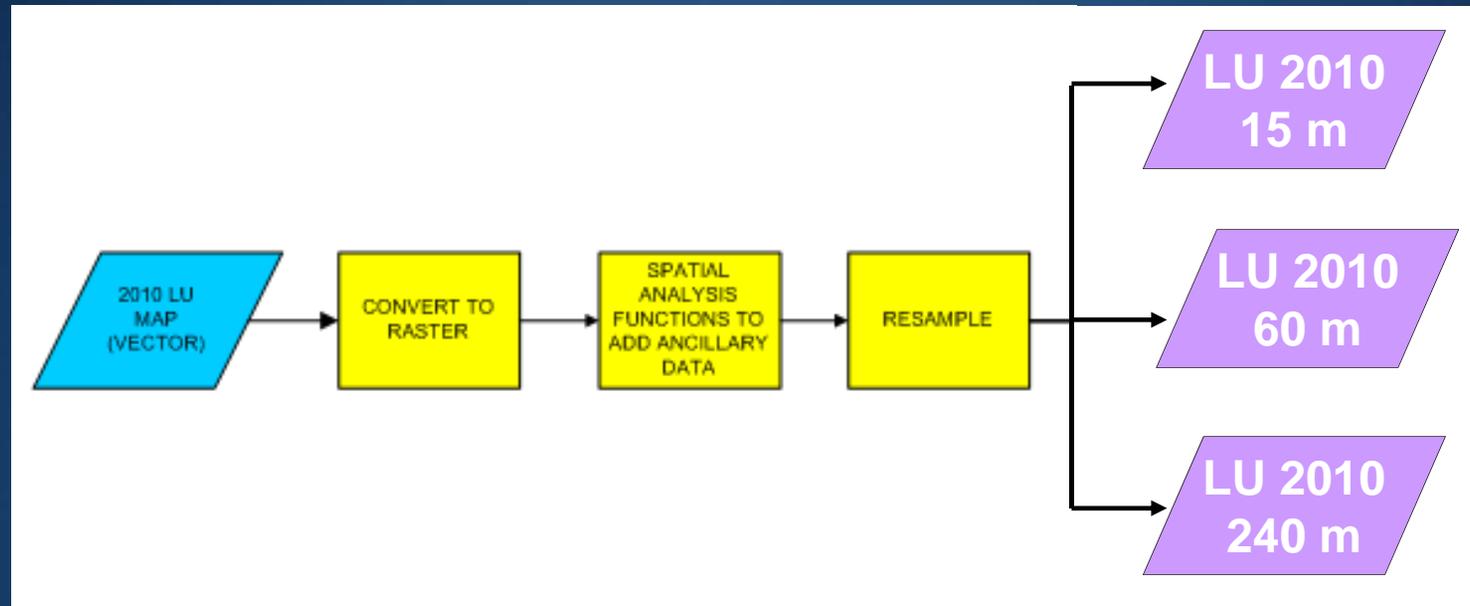
# Cálculo de error de clasificación



ZONE	TOTAL NUMBER OF SAMPLES
North	1,152
South	1,155
East	1,129
West	1,182
Center	1,091
<b>TOTAL</b>	<b>5,709</b>

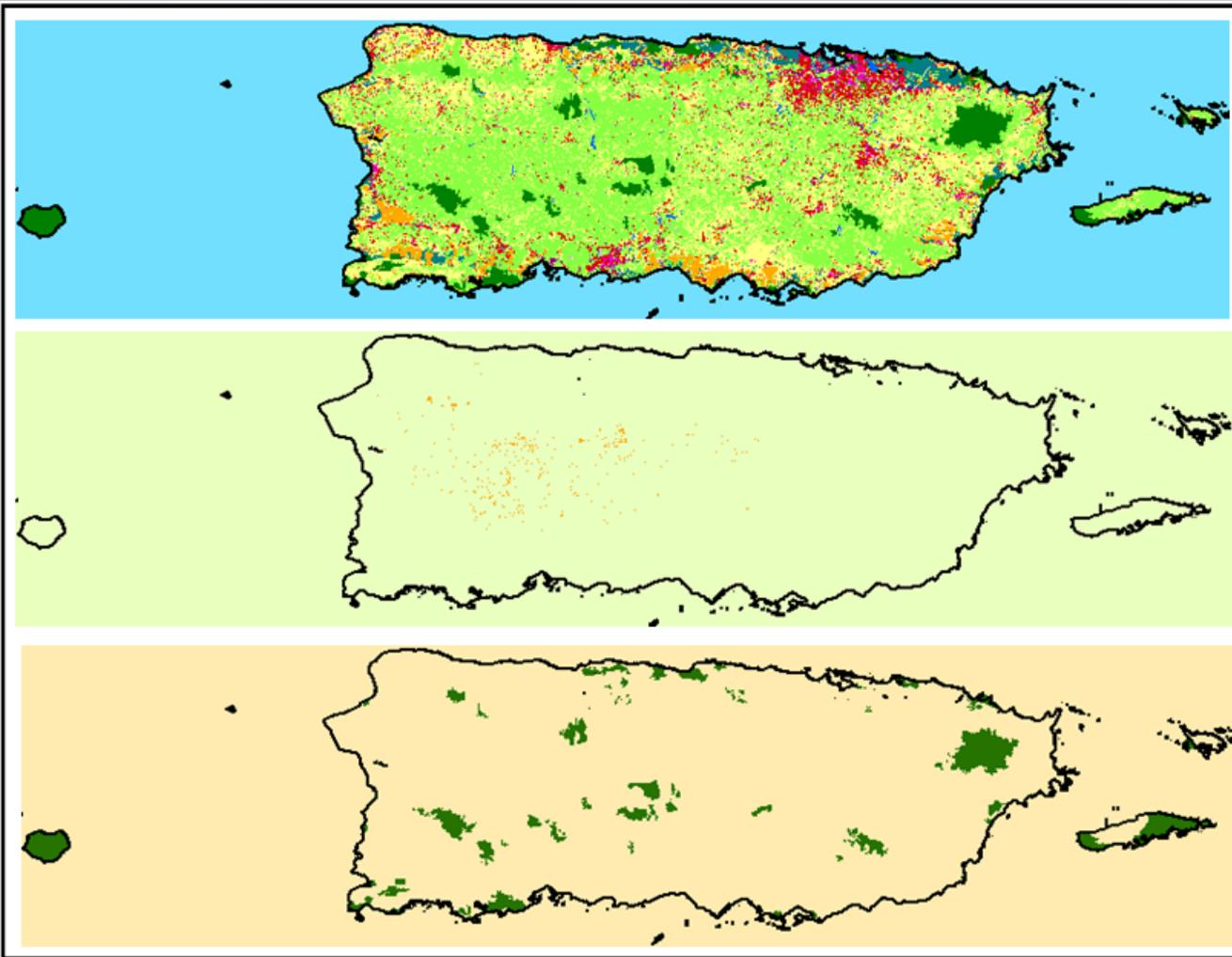
REGION	ACCURACY	KAPPA
TOTAL MAP AREA	97.04	0.9672
NORTH	97.40	0.9710
SOUTH	96.80	0.9649
EAST	97.25	0.9694
WEST	97.12	0.9682
CENTER	96.61	0.9617

# Generación del mapa de uso/cobertura 2010



# Generación del mapa de uso/cobertura 2010

- Funciones de Reclassify, Plus y Over



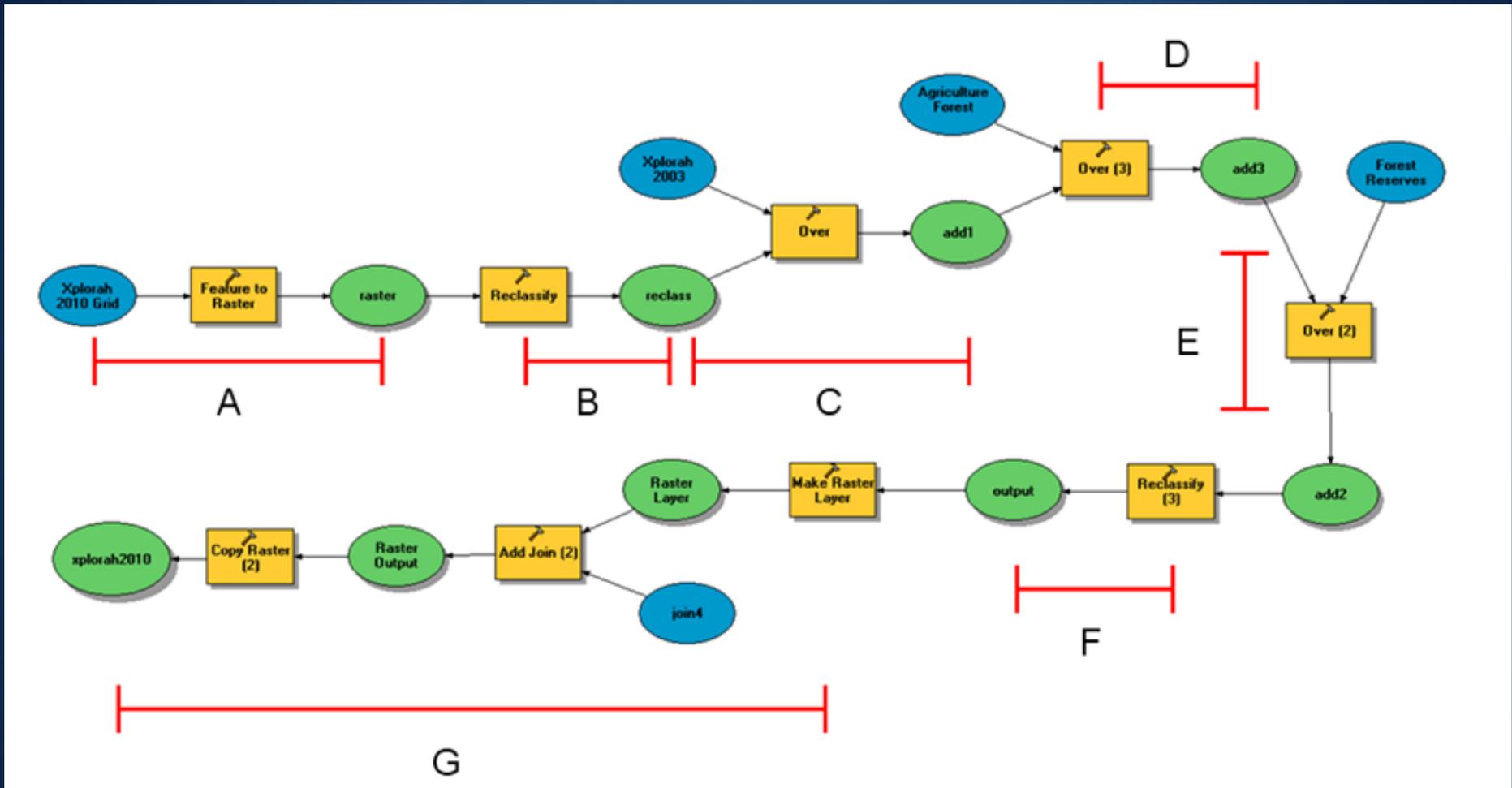
LU Map 2003

Corrección para  
Clase Agricultura  
y Bosque

Bosques y  
Reservas

# Generación del mapa de uso/cobertura 2010

- Model Builder - ArcGIS



## Integración descripción High-Low Density

- Interpretadores no determinaron la intensidad del uso (residencial y trade and services)
- Intensidad está basada en la definición del PRGAP

### High-Density:

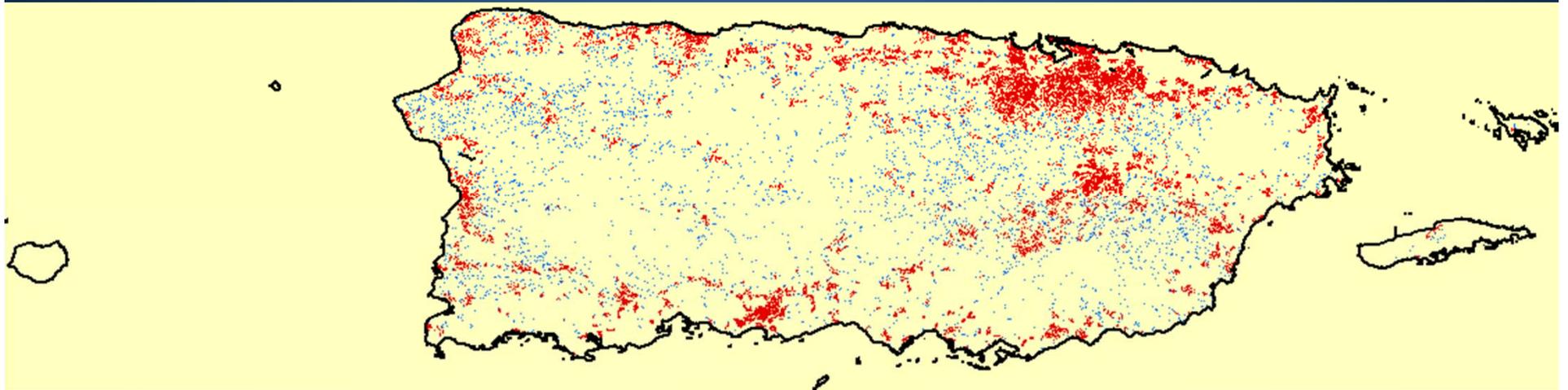
“Developed pixels that exist within a matrix of >20% developed pixels (<80% vegetated, water or natural barrens) within a 1km<sup>2</sup> area surrounding each pixel.” (Gould et al 2007).

### Low-Density:

“Developed pixels that exist within a matrix of <20% developed pixels (>80% vegetated, water or natural barrens) within a 1km<sup>2</sup> area surrounding each pixel.” (Gould et al 2007).

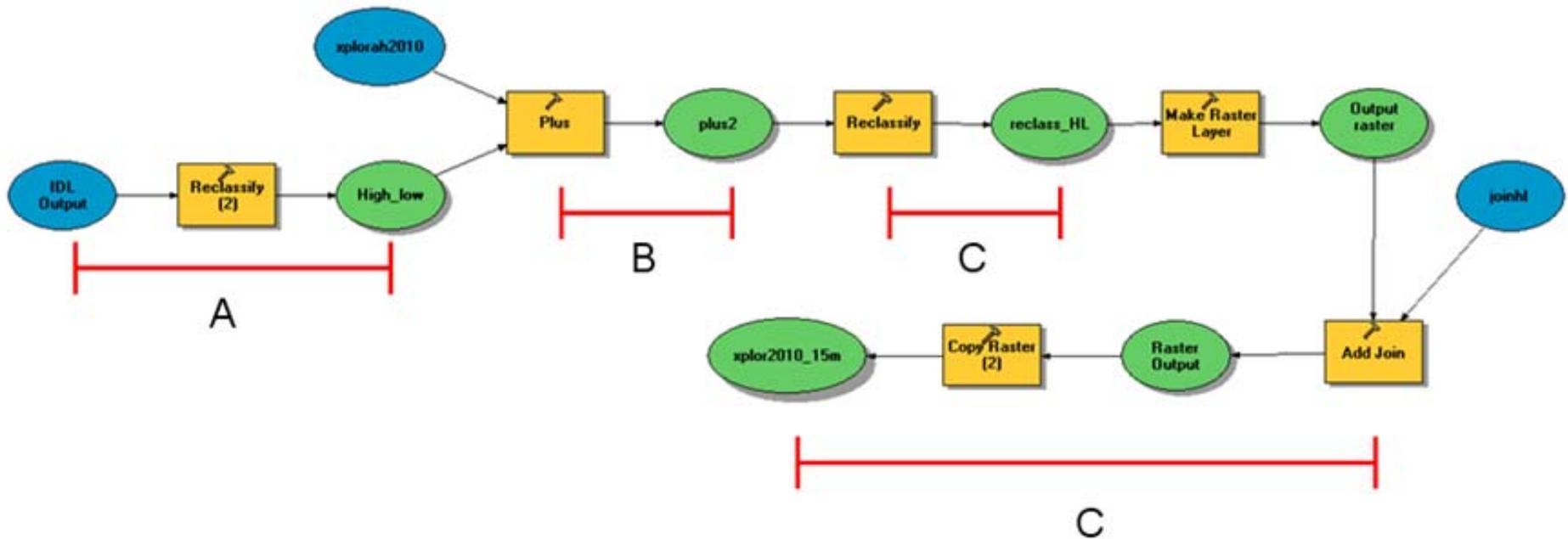
# Integración clases High-Low Density

- Desarrollo de rutina de programación en IDL Workbench para determinar la intensidad basado en la definición del PRGAP

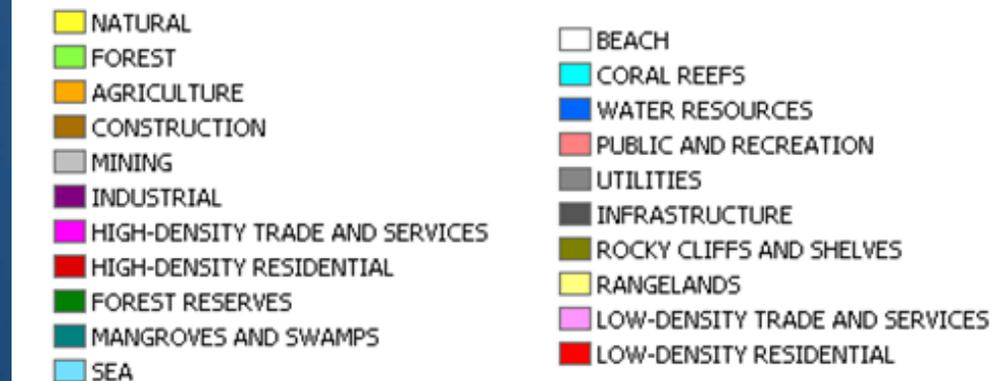
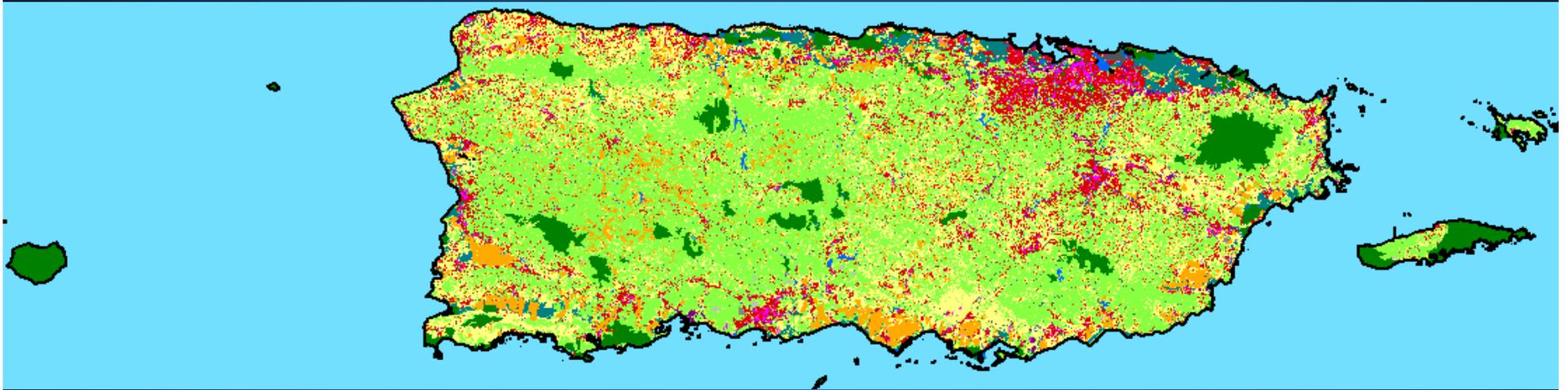


# Integración clases High-Low Density

- Model Builder - ArcGIS

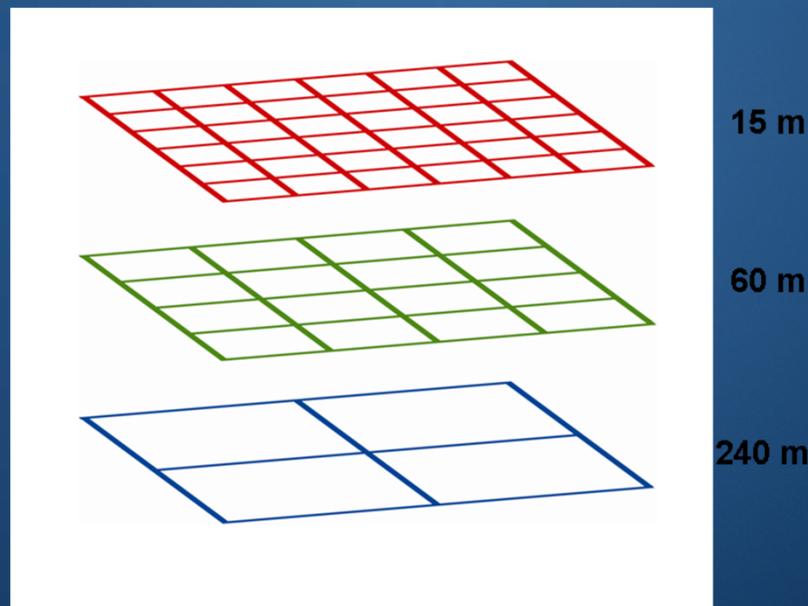


# Mapa de uso/cobertura de suelo 2010 @ 15 m

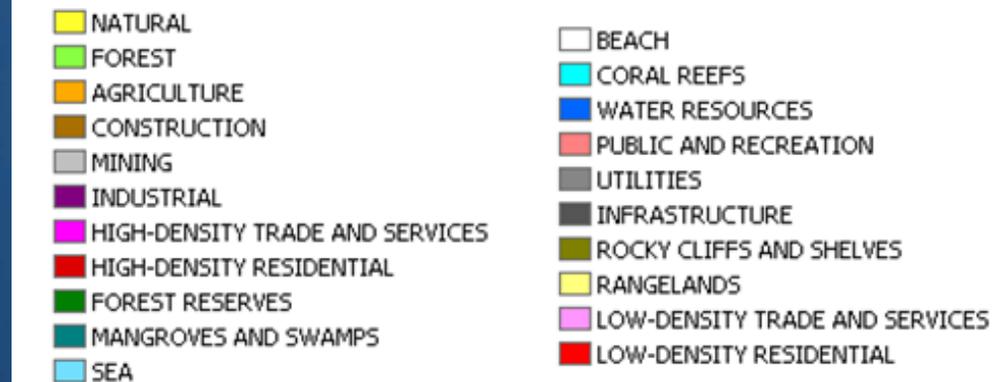
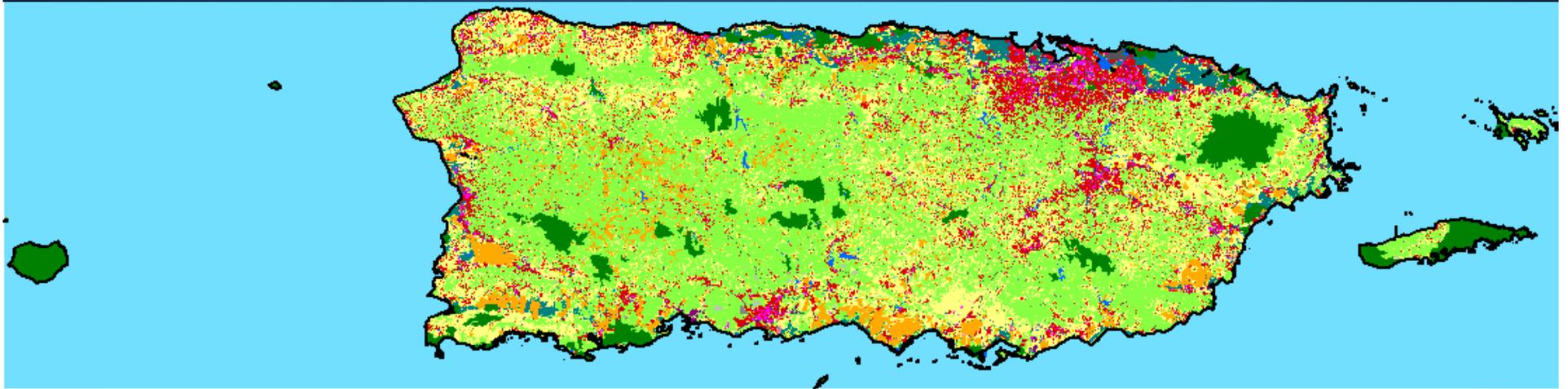


# Resampling

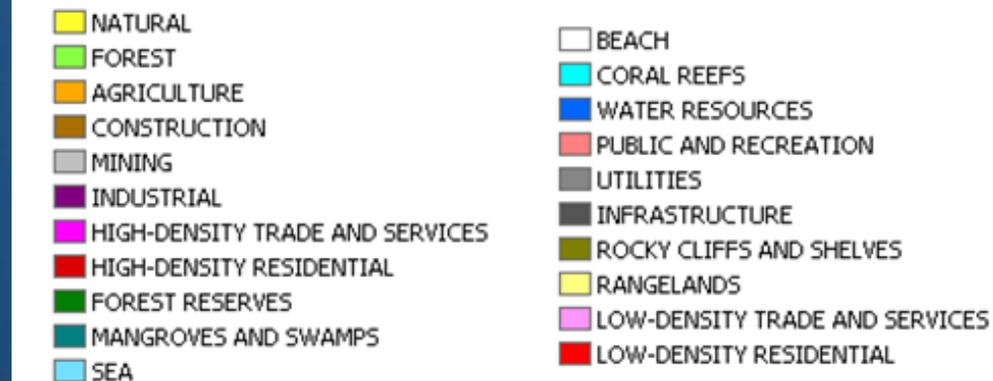
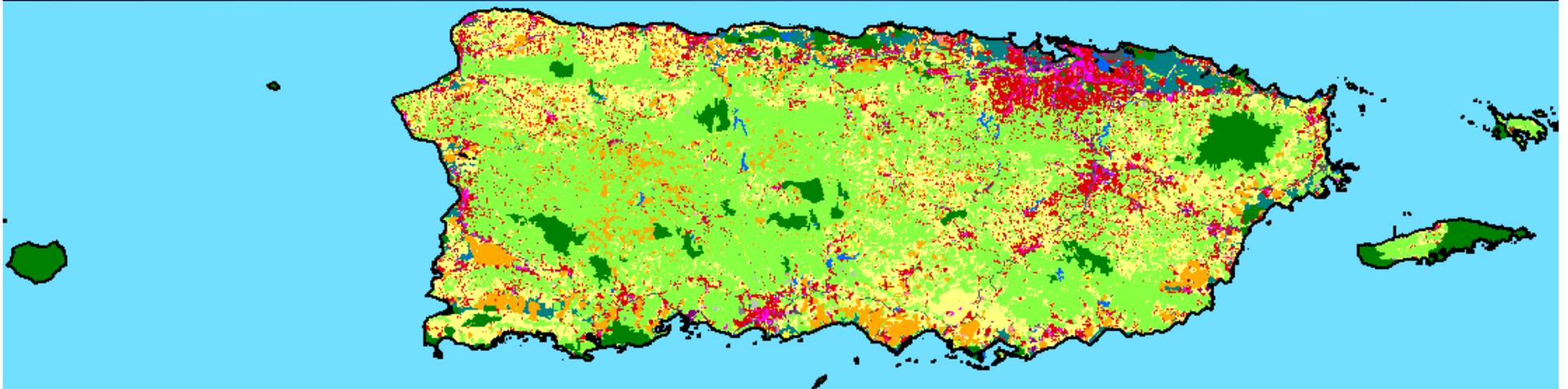
- SpatAggr (RIKS)
- Preservación de clases poco representadas en el territorio.
- La proporción de cada clase se mantiene antes y después del resampling



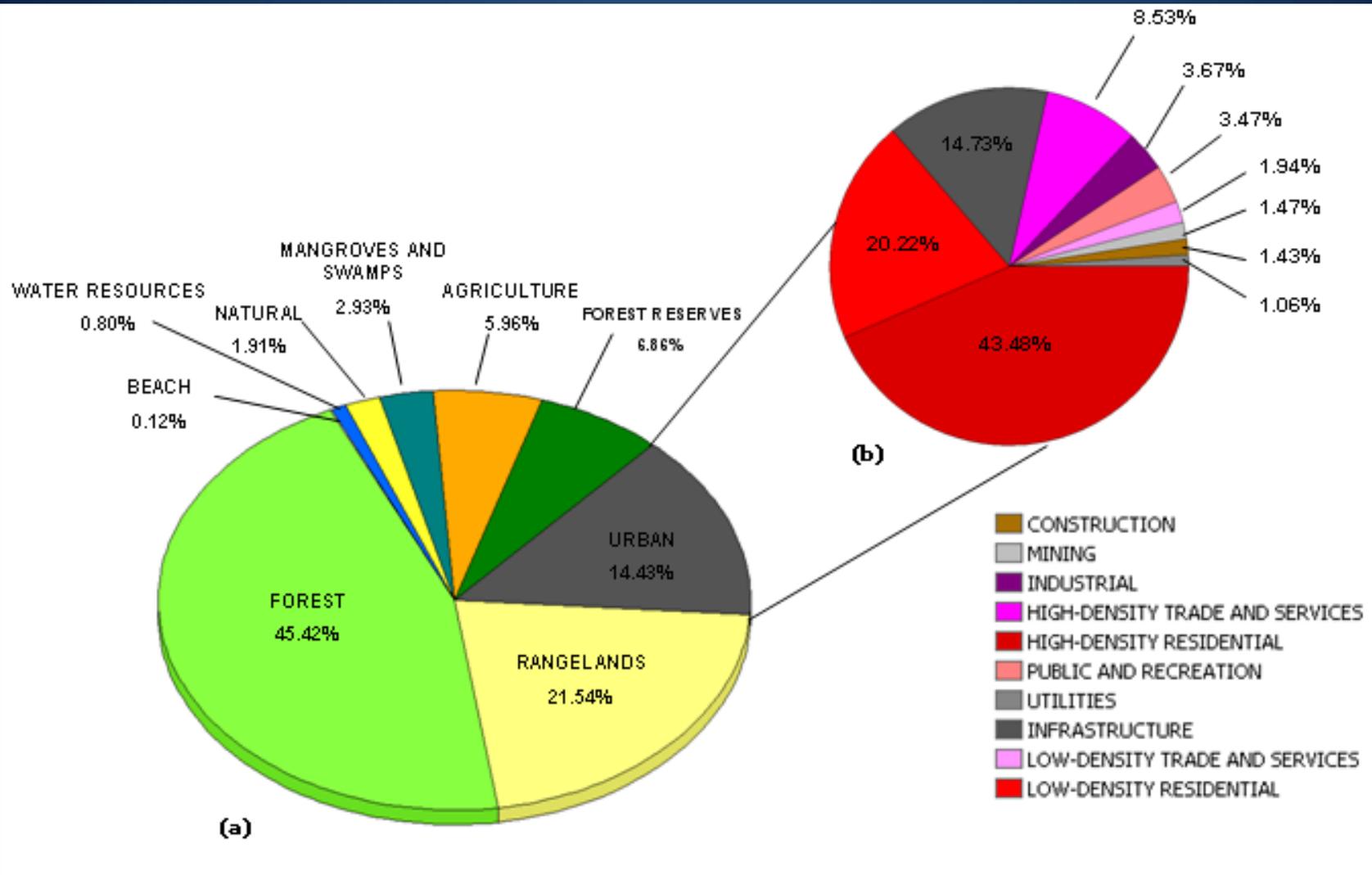
# Mapa de uso/cobertura de suelo 2010 @ 60 m



# Mapa de uso/cobertura de suelo 2010 @ 240 m



# Distribución del Uso de la Tierra al Año 2010



# Comparación LU 2003 y LU 2010

CLASS DESCRIPTION	CODE	2010	2003	DIFFERENCE	PERCENT INCREASE/DECREASE (↑↓)
		AREA (KM <sup>2</sup> )	AREA (KM <sup>2</sup> )		
CONSTRUCTION	3	18.47	38.90	20.43	52.51 ↓
MINING	4	18.99	13.73	5.25	38.25 ↑
INDUSTRIAL	5	47.42	41.62	5.80	13.93 ↑
HIGH-DENSITY TRADE AND SERVICES	6	110.25	79.35	30.90	38.94 ↑
HIGH-DENSITY RESIDENTIAL	7	562.10	355.32	206.78	58.20 ↑
PUBLIC AND RECREATION	14	44.83	15.52	29.30	188.76 ↑
UTILITIES	15	13.72	11.64	2.09	17.93 ↑
INFRASTRUCTURE	16	190.38	96.17	94.21	97.96 ↑
LOW-DENSITY TRADE AND SERVICES	61	25.09	20.64	4.45	21.54 ↑
LOW-DENSITY RESIDENTIAL	71	261.43	194.96	66.47	34.09 ↑
<b>TOTAL</b>		<b>1292.69</b>	<b>867.87</b>	----	----

CLASS DESCRIPTION	CODE	2010	2003	DIFFERENCE	PERCENT INCREASE/DECREASE (↑↓)
		AREA (KM <sup>2</sup> )	AREA (KM <sup>2</sup> )		
NATURAL	0	171.12	98.80	72.32	73.20 ↑
FOREST	1	4069.37	3567.85	501.52	14.06 ↑
AGRICULTURE	2	534.34	922.57	388.23	42.08 ↓
FOREST RESERVES	8	614.81	556.96	57.86	10.39 ↑
MANGROVES AND SWAMPS	9	262.40	284.61	22.22	7.81 ↓
BEACH	11	10.44	11.66	1.22	10.48 ↓
CORAL REEF	12	0.0257	0.0259	0.00023	0.87 ↓
WATER RESOURCES	13	72.13	60.53	11.59	19.15 ↑
ROCKY CLIFFS AND SHELVES	17	2.60	2.96	0.36	12.17 ↓
RANGELANDS	18	1930.12	2585.47	655.35	25.35 ↓
URBAN	---	1292.69	867.87	424.82	48.95 ↑
<b>TOTAL</b>		<b>8960.04</b>	<b>8959.31</b>	----	----

# Conclusiones

- Aumento en todas las clases urbanas excepto construcción en donde se observa una disminución considerable
- Sobre –estimado el aumento en la clase de Public and Recreation e Infraestructura debido a correcciones introducidas
- Sobre-estimada la disminución en la clase de agricultura debido a la corrección introducida.
- Aplicar correcciones al mapa de 2003
  - Clase de agricultura
  - Clase de infraestructura
- Integración RS y GIS efectiva

**¿Preguntas?**  
**[groman@gmtgis.com](mailto:groman@gmtgis.com)**