



Requisitos de área para proyectos de energía solar a escala industrial en Puerto Rico

¹David Sotomayor Ramírez

²Lucas Prado Tovar

Kimberly Araya Guzman

2

¹Catedrático y ²Estudiante graduado

Universidad de Puerto Rico,

Recinto Universitario de Mayaguez; Colegio de Ciencias Agrícolas

(Programa Ciencias de Suelos)

david.sotomayor@upr.edu

Matriz energética potencial *estimada* (5,943 MW)



**Termoeléctricas
(diésel)
4,612 MW**



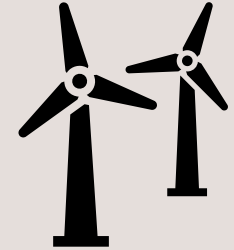
**Cogeneradores
(carbón y gas
natural)
984 MW**



**Hidroeléctrica
98.3 MW**



**Solar a escala
industrial
147.1 MW**



**Eólica
102 MW**

Plan Integrado de Recursos- Meta es de 3,750
MW_{dc}, (2,800 MW_{ac})² en seis tramos

Meta del PIR, apenas cubrirá la demanda pico



**Solar en techos
~ 900 MW**

Contexto político-energético

2019

Política Pública Energética

- Ley 17-2019- Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico
- Ley 33-2019- Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico
- Negociado de Energía (NEPR) a través del Plan Integrado de Recursos (PIR) guía la transición **con meta de 3.250 MW**

2022

Publicación de Información por parte del NEPR

- NEPR aprobó 18 proyectos de energía solar a escala industrial
- NEPR y AEE escondieron información hasta que el Tribunal de Primera Instancia ordenó divulgación de los proyectos y su ubicación
- Araya & Sotomayor-Ramírez identificaron las localizaciones geográficas y su área real (PRYSIG, 2022)

40% en
o antes
de 2025

60% en
o antes
de 2040

100%
en o
antes
de 2050



Tramo-1 (18 proyectos)

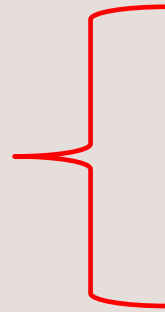


El mapa en su versión digital puede ser visualizado en -

<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=722ee7eac67e4c1ea0eca587a62fce1d>

Resumen del área que ocupan los proyectos del tramo 1 y su clasificación según PUT, 2015

**Suelo Rústico
Especialmente
Protegido
(4,523 acres)
= 79.3%**



Clasificación	Área	Proporción
	acres	%
SREP	20.3	0.36
SREP-A	3,925.9	68.9
SREP-E	555.7	9.75
SREP-P	22.1	0.39
URB	1,175.6	20.6
Total	5,699.4	100

...y estará considerando unos 80 proyectos industriales adicionales

Marco legal y reglamentario que aplica a terrenos agrícolas

1. **Plan de Uso de Terrenos - 2015**
2. **Ley 17-2019**
3. **Ley 33-2019**
4. **Leyes de Reservas Agrícolas - 1999**
5. **Plan de Reorganización del Departamento de Agricultura - 2010**
6. **Reglamento Conjunto de Permisos- 2022**



Plan de Uso de Terrenos (nov. 2015)

(P. de la C. 4712)
(Conferencia)

LEY NUM. 550

3 DE OCTUBRE DE 2004

Para establecer la “Ley para el Plan de Uso de Terrenos del Estado Libre Asociado de Puerto Rico”, definir la nueva política pública; crear la Oficina del Plan de Uso de Terrenos, adscrita a la Junta de Planificación; crear el Comité Interagencial de la Rama Ejecutiva; autorizar la designación de un Consejo Asesor Externo; disponer los requisitos sustantivos y procesales para la elaboración, consideración, aprobación e implantación del Plan; establecer el procedimiento de inventario de recursos; establecer el procedimiento de Declaración de Áreas de Reserva a Perpetuidad; requerir un Plan Especial para los Municipios de Vieques y Ceiba; establecer disposiciones relacionadas con los Reglamentos de Zonificación Especial; establecer el proceso de transición hacia el Plan y para otros fines.



(P. de la C. 367)

LEY NUM. 6 3 DE ENERO DE 2014

Para enmendar los Artículos 5, 11 y 16, y añadir un subinciso 8, al inciso (l) del Artículo 6 de la Ley 550-2004, según enmendada, conocida como la “Ley para el Plan de Uso de Terrenos del Estado Libre Asociado de Puerto Rico”, a los fines de incluir como requisito el que uno de los miembros del Consejo Asesor Externo sea un agrónomo licenciado; garantizar que se reserve un mínimo de seiscientos mil (600,000) cuerdas de terreno agrícola; y establecer que en toda legislación que se apruebe para declarar, designar o delimitar cualquier extensión territorial bajo la jurisdicción del Estado Libre Asociado de Puerto Rico como “Área Especial de Reserva a Perpetuidad” de valor ecológico, agrícola, histórico, cultural o arqueológico, no se afecte esa dicha reserva mínima de seiscientos mil (600,000) cuerdas de terreno agrícola.

Los terrenos de la Reserva Especial Agrícola de Puerto Rico tienen que ser protegidos y preservados a perpetuidad para garantizar una mayor seguridad alimentaria del país

Ley 17-2019 (Ley de Política Pública Energética de Puerto Rico)

“...el NEPR tiene el deber de “[a]segurar la integración de energía renovable al sistema eléctrico de forma segura, confiable, a un costo razonable, e **identificar las tecnologías y los lugares aptos** para viabilizar la integración en atención a los mejores intereses de Puerto Rico **tales como sistemas de relleno sanitario no operacionales y aquellos terrenos previamente contaminados**”

El DDEC, tiene el deber de asistir al NEPR y someterle conclusiones identificando los lugares aptos

Ley 33-2019 (Ley de Mitigación, Adaptación y Resiliencia al Cambio Climático de Puerto Rico)

“...el sector de energía debe “[p]romover las energías renovables o alternativas, que deben desarrollarse, siempre que sea posible, aprovechando espacios ya alterados por la actividad humana, y minimizar así la ocupación innecesaria del suelo.”

“...se debe promover la agricultura protegiendo los recursos naturales, que se realicen medidas que eviten la degradación de los suelos y que se reparen los canales de riego para reducir sustancialmente la pérdida actual de agua”.

¿Cuál es el área de terreno que ocuparán los proyectos solares a escala industrial?

- La transición energética recaerá principalmente sobre solar (escala) (informe PR100)
- El área que ocupan proyectos solar-industrial ha aumentado significativamente con serias preocupaciones sobre
 - Requisitos de área en tierra
 - Impacto sobre la salud de los suelos
 - Impacto sobre comunidades
 - Costo de los proyectos (LCOE)
- *“La tierra es entre los valores más preciados de una nación”*

¿Cuál es el área de terreno que ocuparán los proyectos solares a escala industrial?

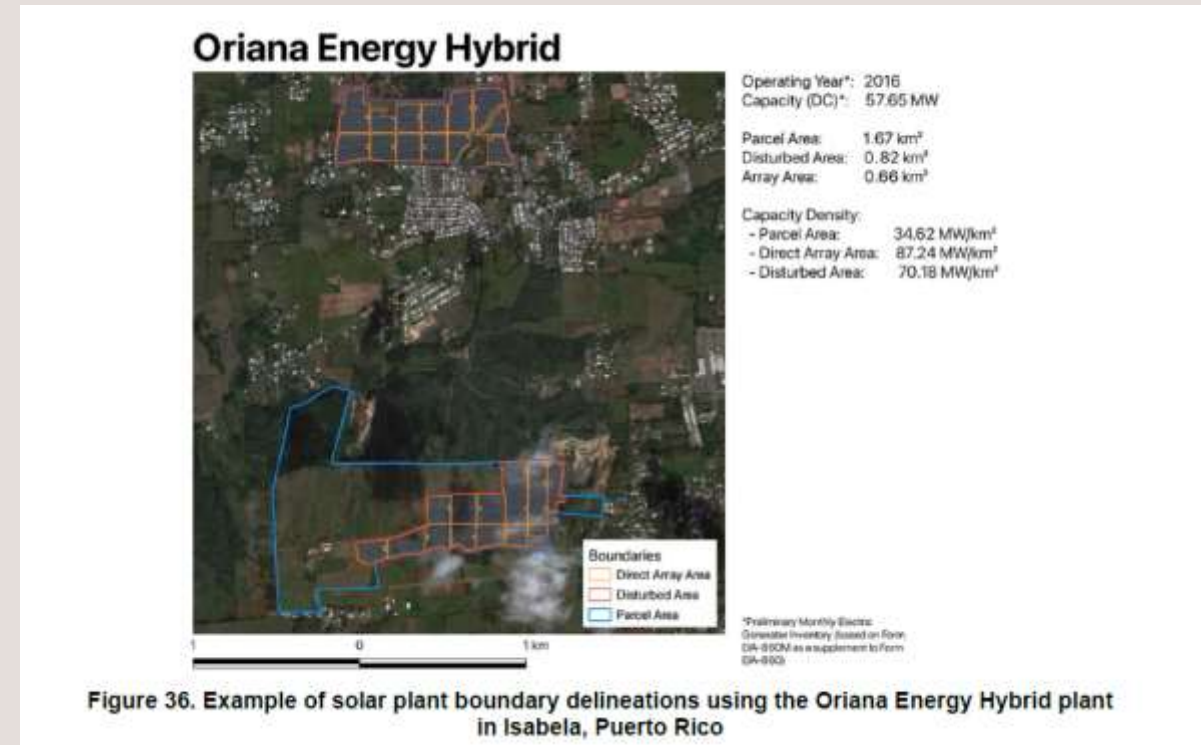
- Densidad de potencia y de energía depende de como se mide

Direct array- área en paneles solares

Impact area- área que incluye caminos, edificios, baterías, inversores

Parcela- área de la parcela de la propiedad

Disturbed = $\sim 1.4 \times$ Direct array



NREL, 2023

¿Cuál es el área de terreno que ocuparán los proyectos solares a escala industrial?

- Densidad de potencia y de energía depende de como se mide
- **Ong et al (2013).** *Land-use requirements for solar power plants in the US. NREL/TP-6A20-56290 (direct-array)*
 - **0.23 MW_{ac}/acre; 4.3 acre/MW_{ac} (350 MWh/yr-acre)**
- **Bolinger & Bolinger. (2023).** *Land requirements for utility-scale PV: An empirical update (736 plantas entre 2011 al 2019; > 5MW_{ac}; Fixed-tilt; direct array)*
 - **0.35 MW_{dc}/acre; 2.86 acre/MW_{ac} (450 MWh/yr-acre)**
- **NREL (2023)-** Area impactada
 - **0.29 MW_{dc}/acre; 3.4 acre/MW_{ac} (479 MWh/yr-acre)**

Matriz energética potential *estimada* actual (5,943 MW)



**Termoeléctricas
(diésel)
4,612 MW**



**Cogeneradores
(carbón y gas
natural)
984 MW**



**Eólica
102 MW**



**Solar escala industrial
147.1 MW**



**Hidroeléctrica
98.3 MW**

Solar a escala industrial

- 1. AES Ilumina, Guayama- 20 MW**
- 2. San Fermín, Loiza- 20 MW**
- 3. Horizon, Salinas- 10 MW**
- 4. Oriana, Isabela- 45 MW**
- 5. Fonroche, Humacao- 40 MW**
- 6. Coto Laurel, Ponce- 10 MW**
- 7. Windmar Cantera, Ponce- 2.1**

Fonroche



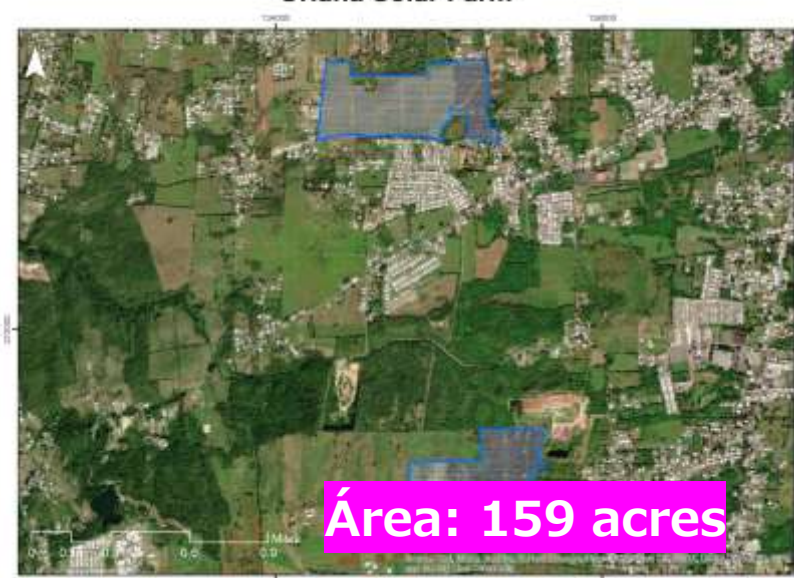
Área: 133 acres

Horizon Solar Farm



Área: 41 acres

Oriana Solar Farm



Área: 159 acres

Coto Laurel Solar Farm



Área: 32 acres

AES Ilumina



Área: 81 acres

San Fermín Solar



Área: 83 acres

Escala industrial | CIRO One Municipio de Salinas

77 MW; 963 acres; 90% tierras agrícolas



Georreferenciación

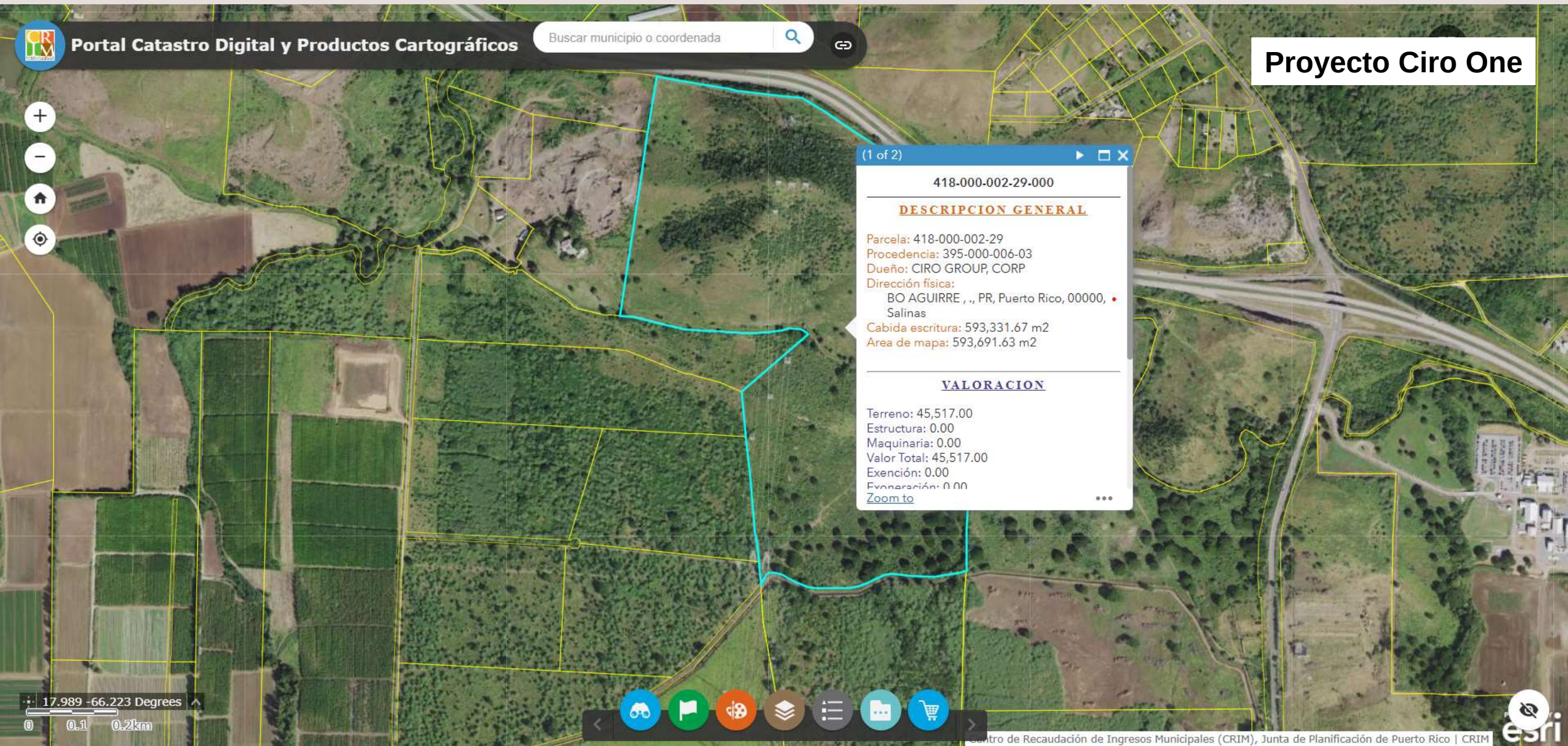
Identificación de proyecto en *Google Earth*



**Portal Catastro Digital y Productos Cartográficos**

Buscar municipio o coordenada





Proyecto Ciro One

(1 of 2)

418-000-002-29-000

DESCRIPCION GENERAL

Parcela: 418-000-002-29

Procedencia: 395-000-006-03

Dueño: CIRO GROUP, CORP

Dirección física:
BO AGUIRRE , , PR, Puerto Rico, 00000, Salinas

Cabida escritura: 593,331.67 m2

Area de mapa: 593,691.63 m2

VALORACION

Terreno: 45,517.00

Estructura: 0.00

Maquinaria: 0.00

Valor Total: 45,517.00

Exención: 0.00

Exoneración: 0.00

[Zoom to](#)

17.989 -66.223 Degrees

0 0.1 0.2km

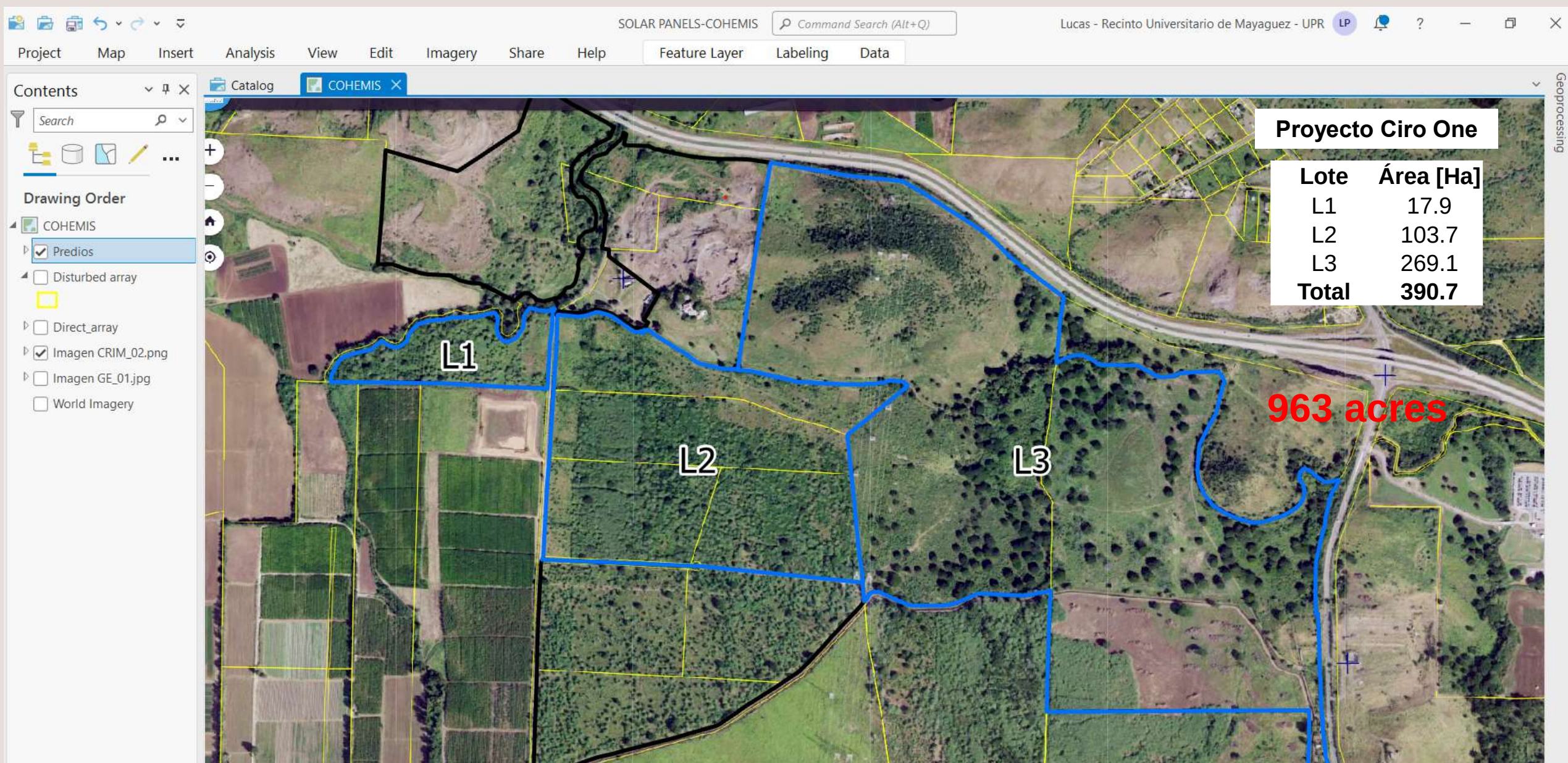


Centro de Recaudación de Ingresos Municipales (CRIM), Junta de Planificación de Puerto Rico | CRIM



Digitalización

Georreferenciación de la imagen en ArcGIS Pro y construcción de los polígonos de predios según el CRIM

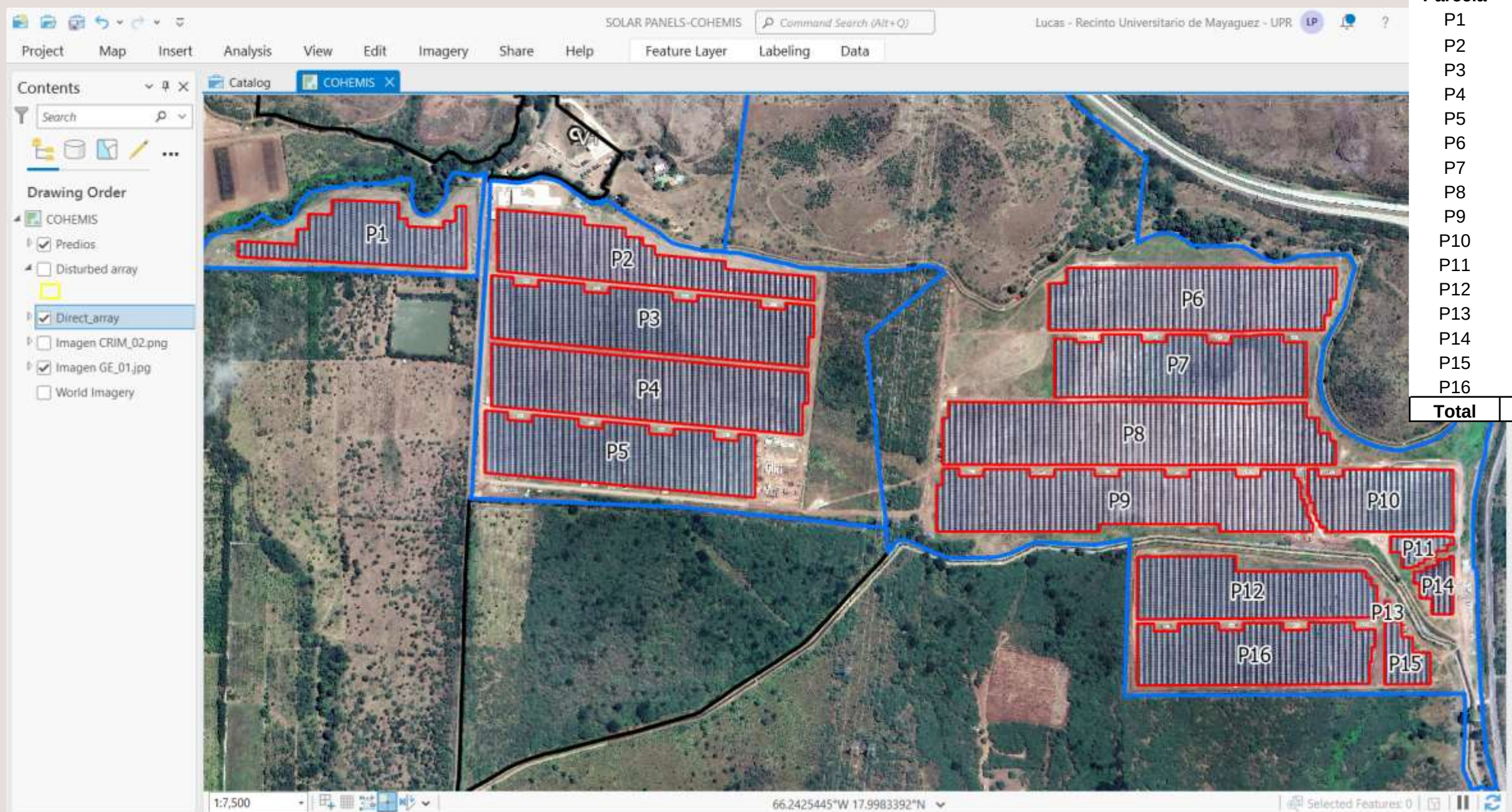


Digitalización

Construcción de los polígonos *direct array* correspondiente al área exclusiva de los paneles

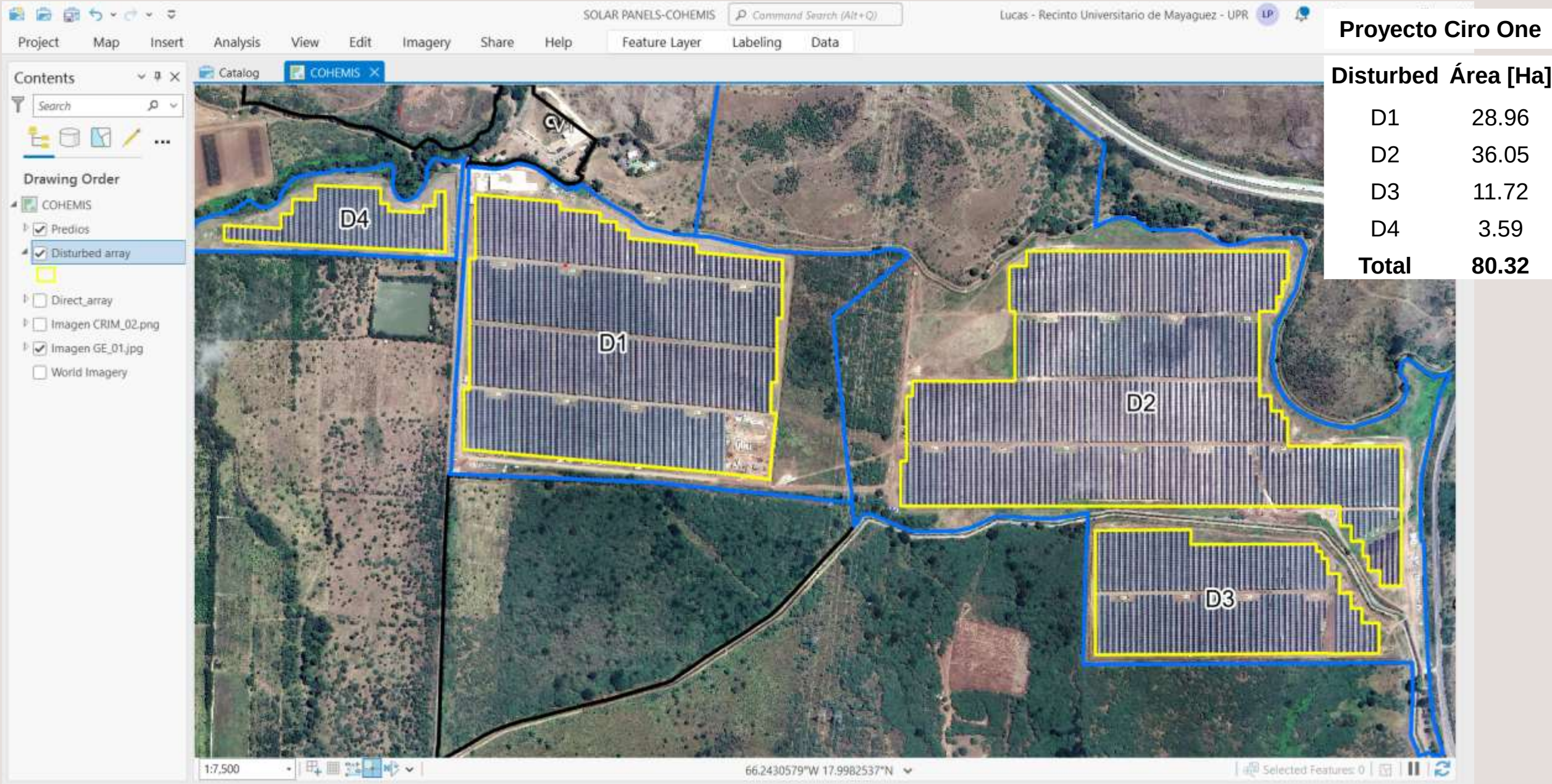
Proyecto Ciro One

Parcela	Área [Ha]
P1	3.59
P2	4.94
P3	7.17
P4	7.34
P5	6.00
P6	6.47
P7	5.58
P8	8.82
P9	7.84
P10	3.20
P11	0.49
P12	4.72
P13	0.03
P14	0.60
P15	0.80
P16	5.16
Total	72.74



Digitalización

Construcción de los polígonos *disturbed array* correspondiente al área de los paneles + infraestructura eléctrica



Densidad de potencia y de energía

Proyecto	Area	Potencia	Densidad de potencia		Densidad de energía
	ac	MW	MW _{dc} /acre	acre/MW _{dc}	MWh/acre-yr
AES Ilumina	80.9	20	0.25	4.04	406
Coto Laurel Solar Farm	31.2	10	0.32	3.12	527
Fonroche	132.6	40	0.30	3.31	496
Horizon Solar Farm	41.1	10	0.24	4.11	399
Oriana Solar Farm	159.5	45	0.28	3.55	463
San Fermin Solar	82.6	20	0.24	4.13	398
Promedio			0.27	3.71	448
Rango					398 a 527
Ciro One (<i>este estudio</i>)	198	77 (90)	0.39	2.57	639
Bolinger & Bolinger (2023)- <i>direct array</i>			0.35	2.86	450
NREL (2023)- área impactada			0.29	3.43	479

Demanda de energía y área necesaria de Puerto Rico

- Consumo anual de energía es ~ 19 TWh o 11.5 GW_{ac}
- Satisfacer un 80% de la demanda energética con proyectos a escala industrial
- Corresponde a una potencia aproximada de 15.1 TWh o 12.4 GW_{dc}
- Escenarios de área para satisfacer la energía (densidad de energía de $448 \text{ MWh}_{dc}/\text{acre-año}$), se necesita

% de la demanda	Potencia GW _{ac}	Energía TWh	Rango bajo -----acres---	Rango alto	del territorio -----%	del área agrícola
100	12.4	15.12	28,691	37,990	1.5	7.0
75	9.25	11.34	21,518	28,492	1.1	5.3
50	6.17	7.56	14,345	18,995	0.8	3.5
25	3.08	3.78	7,173	9,497	0.4	1.8

¡Solamente el área impactada, no incluye parcelas!

Contexto del área en proyectos industriales



Puerto Rico Grid Resilience and Transitions
to 100% Renewable Energy Study (PR100)

Final Report

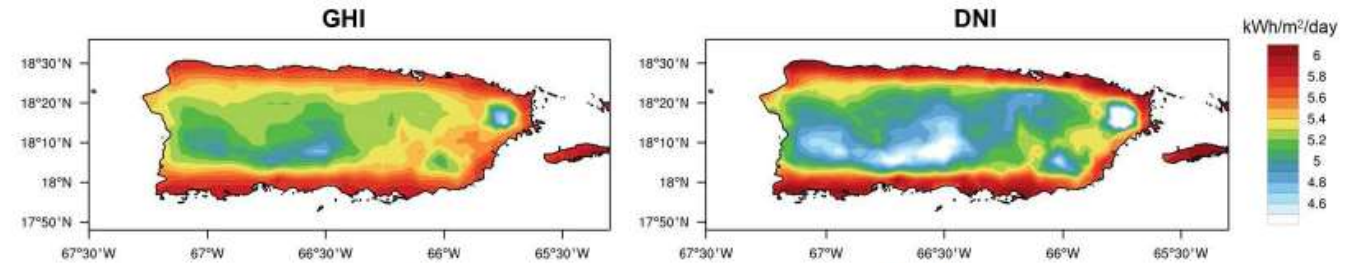
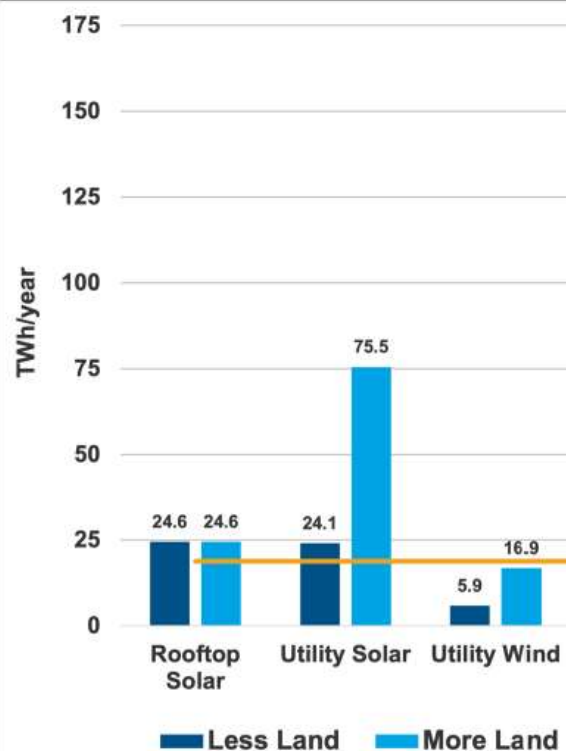
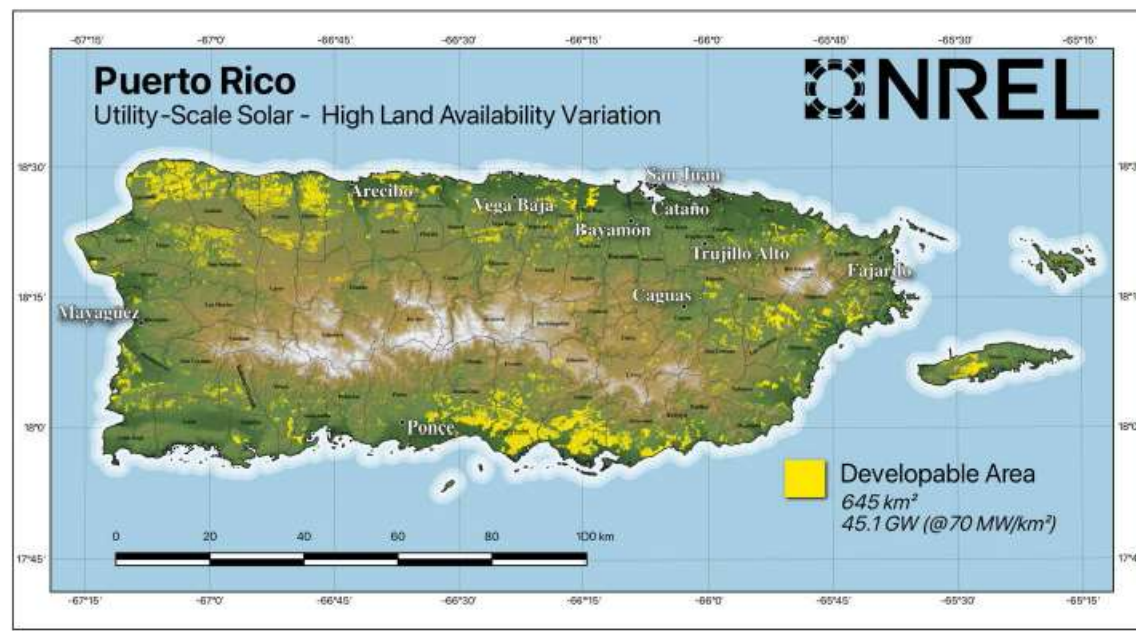


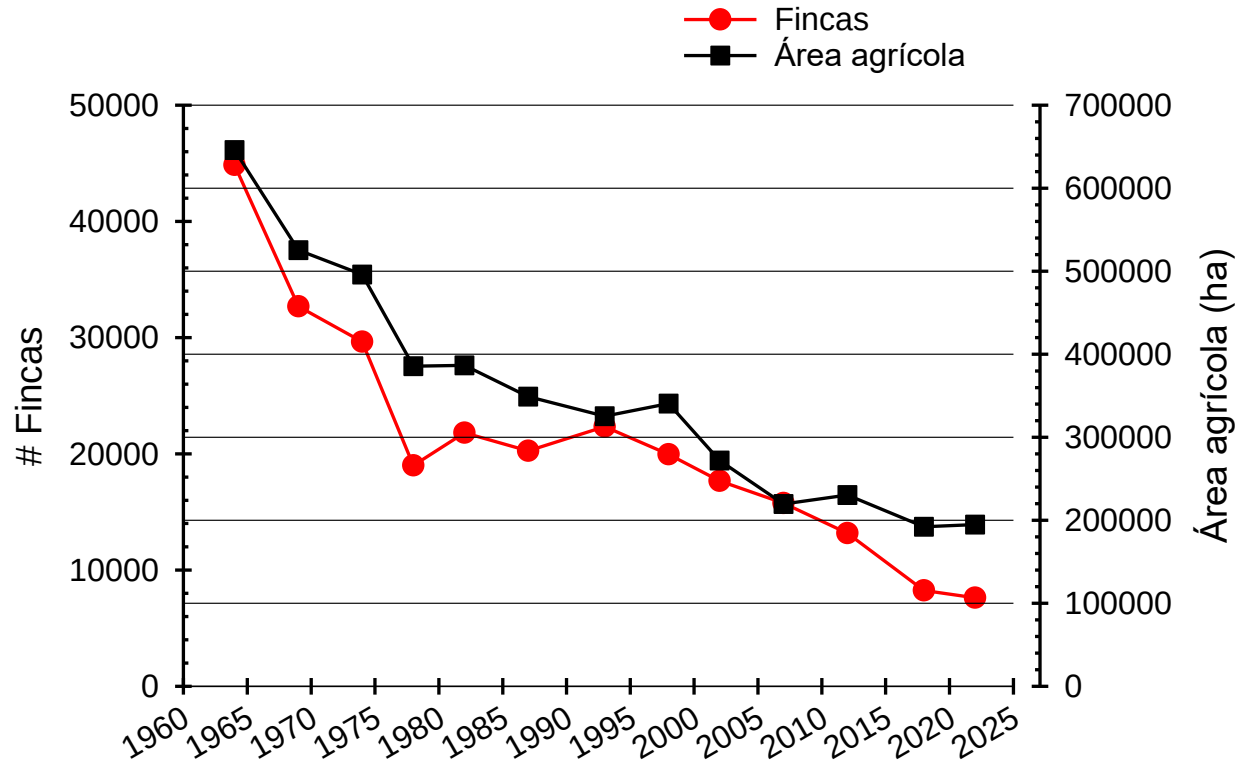
Figure 27. 2D maps of 25-yr average GHI and DNI for Puerto Rico

4-km and 30-min resolution NSRDB data sets



El área potencial es de 2.3% a 7.3% del territorio

Contexto político-energético-agrícola



USDA-NASS, 2024



EE. UU versus Puerto Rico

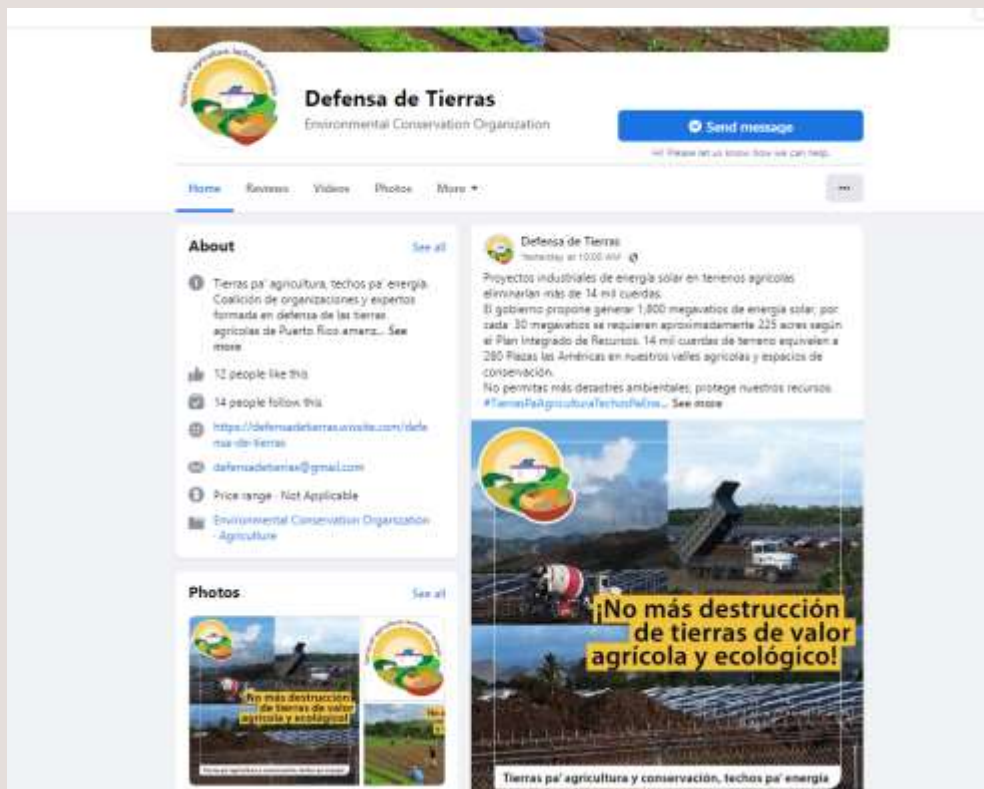
Población- 100x

Área total- 1,031x

Área agrícola- 2,520x

¿Soberanía energética o soberanía alimentaria?

 Defensa de tierras <https://defensadetierras.wixsite.com/defensa-de-tierras>



Coalición: El Puente Enlace Latino de Acción Climática; Organización Boricuá de Agricultura Ecológica; Frente Unido Pro-Defensa del Valle de Lajas; Comité Diálogo Ambiental; Bosque Modelo; Earthjustice; Sierra Club Puerto Rico; Comité Caborrojeños Pro-Salud y Ambiente; UPR Resiliency Law Center; Personal Docente del Colegio de Ciencias Agrícolas (UPR-RUM)

- 
- La agricultura en campo abierto es la base de la agricultura mundial ocupando el 38% del área terrestre global
 - Necesidad de alimentar una población mundial en crecimiento (1.02% anual) y la huella agrícola mundial no puede seguir aumentando
 - Estados-islas (en el Caribe) tienen que mejorar su capacidad de producción agrícola

Servicios ecosistémicos:

- Banco que sirve de base para la producción de comida, ahora y en el futuro
- Biodiversidad animal y vegetal
- Calidad de agua y aire
- Secuestro de carbono para regular el cambio climático

Proyectos industriales que provocan

- Transformación del paisaje
- Alteración de patrones de drenaje
- Aumento en vulnerabilidad de comunidades adyacentes

El suelo es un recurso finito