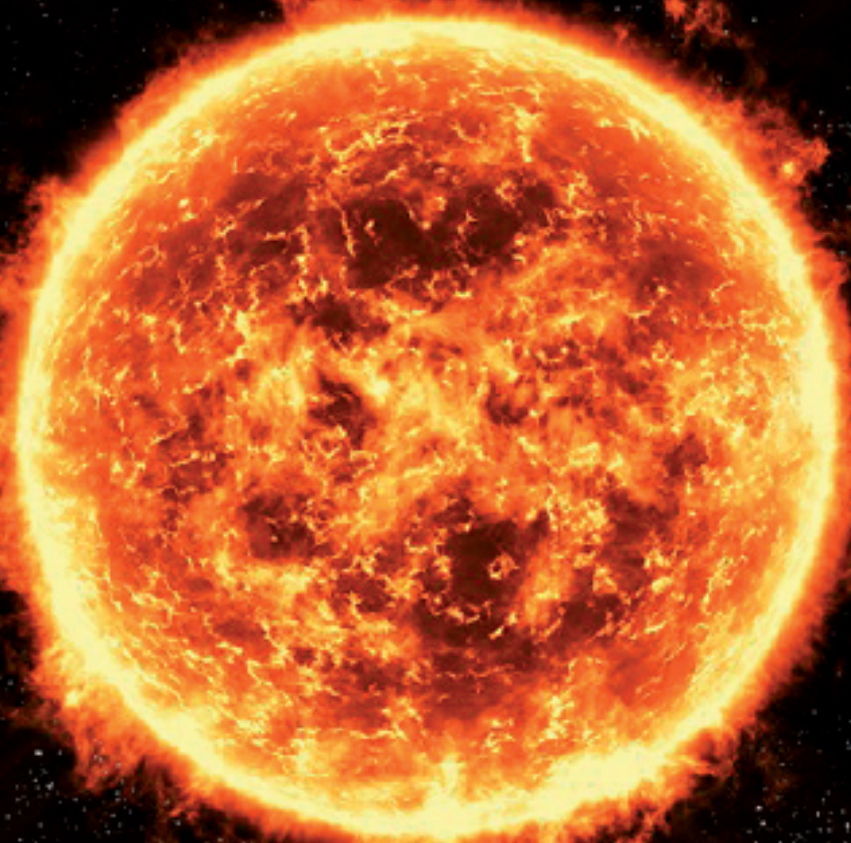


# **Nuevas Cartas de Energía Solar**

---



**Pampa Húmeda  
Argentina**



# Vivimos del Sol

No sólo los seres humanos; el planeta entero palpita con sus ritmos.

Desde el violento origen de la Tierra hasta su ilusoria estabilidad actual, el Sol ha sido el motor, el promotor del cambio, el artífice de la evolución.

Cada rincón de nuestro mundo presenta huellas, tardías o recientes, de la forja constante de su estrella. Cada especie viviente ha adaptado sus acciones para aprovechar lo que proviene de sus rayos cuando son benévolos, o para evitar sus rigores cuando son impiadosos.

Y como fruto de su impulso, del azar y del tiempo, la vida ha mutado, fructificando quizá en su producto más paradójico: seres curiosos, que exploran y conocen su entorno, que transmiten sus experiencias más allá de sus propias vidas, que inquietan con método, que gozan con desorden, que hacen arte, que cultivan, que domestican y son domesticados, que pelean, que sueñan, que hacen ciencia, que dudan.

Las colosales cantidades de energía emanadas durante miles de millones de años han germinado en hombres: átomos, moléculas, células coordinadas que se preguntan sobre el Sol, y que buscan la forma de prosperar transformando la Naturaleza.

Experimentamos esa transformación.

Una transformación que requiere cada vez mayor poder, que cambia al planeta al tiempo que agota sus recursos; y que necesita imperiosamente aprovechar las fuentes energéticas de manera sustentable.

Pero, en la era de la inteligencia, aprovechar implica conocer.

Sabemos cuál es el camino a seguir, porque la energía solar que incide durante un solo día sobre la Tierra equivale a 25 años de consumo eléctrico de la humanidad actual. Estamos, como especie, desarrollando la tecnología que permita transitarlo. Pero para recorrerlo necesitamos una hoja de ruta, un mapa, unas cartas. Cartas para navegantes y exploradores en los tiempos de la energía solar.

## Cartas como éstas...

# Introducción

El trazado de cartas de irradiación solar es una tarea imprescindible a la hora de aprovechar este ubicuo recurso energético. Los dispositivos que emplean la energía solar para generar electricidad, calentar agua, secar especies vegetales, esterilizar suelos, entre otras múltiples aplicaciones que la tecnología y los usos culturales ponen a nuestro alcance, requieren del **conocimiento de los niveles de radiación solar** para su correcto dimensionamiento.

De igual modo, dado que la irradiación solar resulta una **fuerza primaria de energía** de interés relevante, tanto para la meteorología, la agricultura, la biología u otras disciplinas, es preciso evaluar cómo varía tanto espacialmente como temporalmente.

La zona geográfica objeto de este trabajo presenta singular relevancia: por un lado alberga a un gran porcentaje de la población argentina y, por el otro es el mayor centro de desarrollo económico del país en lo que hace a su agroindustria y a su actividad fabril. La conjunción de ambos hechos hace que las cartas de irradiación solar de la región tengan una importancia mayúscula.

Este atlas, realizado por el **Grupo de Estudios de la Radiación Solar (GERSolar)** presenta **valores de irradiación (global en plano horizontal) diarios medios mensuales** (en kWh/m<sup>2</sup>) para la Pampa Húmeda Argentina con una resolución espacial que puede clasificarse dentro de la meso escala. Estos valores difieren de la media real en un máximo del 10% con un nivel de confianza del 90%.



# Red de medición

Para el trazado de estas cartas, se empleó información proveniente de una red de **diez estaciones instaladas en la Pampa Húmeda**, ubicadas en estaciones experimentales del **Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)** y en el predio de la **Universidad Nacional de Luján (UNLu)**.



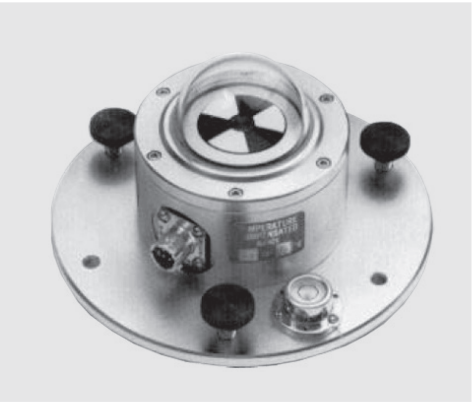
Estación	Lon	Lat	Período
Anguil	-63.99	-36.54	Jul/11 – Ago/18
Azul	-59.88	-36.77	Set/ 10 – Jul/14
Balcarce	-58.30	-37.76	Set/10 – Ago/18
Barrow	-60.24	-38.32	Jun/13 – Ago/18
Concep. del Uruguay	-58.35	-32.49	May/12 – Ago/18
Villegas	-62.78	-34.87	Ene/12 – Ago/18
Luján	-59.06	-34.59	Set/10 – Ago/18
Marcos Juárez	-62.08	-32.57	Ene/11 – Ago/18
Paraná	-60.54	-31.85	Set/10 – Ago/18
Pergamino	-60.57	-33.94	Set/10 – Ago/18

# Instrumental

Los solarímetros usados en las estaciones son **piranómetros termoelectrónicos** CMP11 (Kipp&Zonen, Holanda), CM3, CM5 y Black&Withe (Eppley, EEUU). Todos son recalibrados regularmente en el laboratorio de calibración que el GERSolar posee en sus instalaciones de la UNLU y sus sensibilidades han sido determinadas con incertezas que no superan en ninguno de los casos el 5%, y que rondan típicamente el 2%.



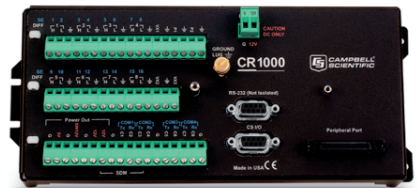
CMP11



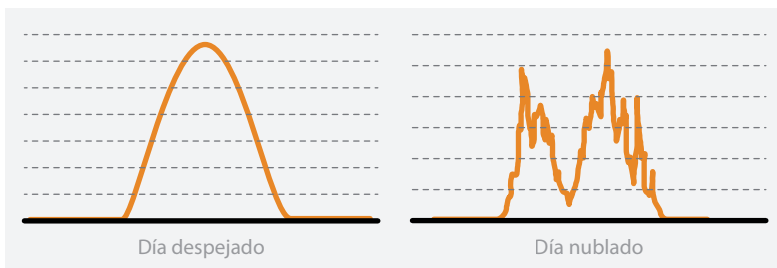
B&W

# Adquisidor de datos

Los adquirentes de datos (*datalogger*) empleados actualmente en las estaciones son CR800 y CR1000 (Campbell, EEUU) capaces de almacenar en la memoria datos correspondientes a varios meses de lecturas por parte de los equipos. Los adquirentes han sido programados para medir la señal del solarímetro **una vez por segundo** y almacenar el **valor promedio en cada minuto**. Una unidad de memoria extraíble facilita su almacenamiento y transmisión al centro de procesamiento instalado en el GERSolar.



Los datos usados para el atlas fueron depurados, exigiendo que los **índices de transparencia** atmosférica diarios ( $k_p$ ) no fuesen superiores al 90%.



Ejemplo de datos de irradiación solar en base minatural.

## Método de interpolación

Para interpolar los datos entre estaciones se utilizó **kriging**. El kriging es un método geoestadístico óptimo que permite trazar isolinéas de forma no arbitraria, minimizando los errores cometidos y conservando sin alteración los valores correspondientes a los sitios de medición. El software utilizado para este propósito es **SURFER 15**. Se utilizó una grilla de 100x90 nodos cuyos límites extremos exceden en 1° los valores máximos de las coordenadas de las estaciones. Se estima que los errores para la determinación de los niveles de radiación no superan el 5%.

### Distribución de días según valores de $k_t$ para cada estación



Anguil



Azul



Balcarce



Barrow



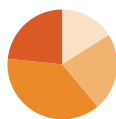
Concep. Uruguay



Gral. Villegas



Luján




Marcos Juarez




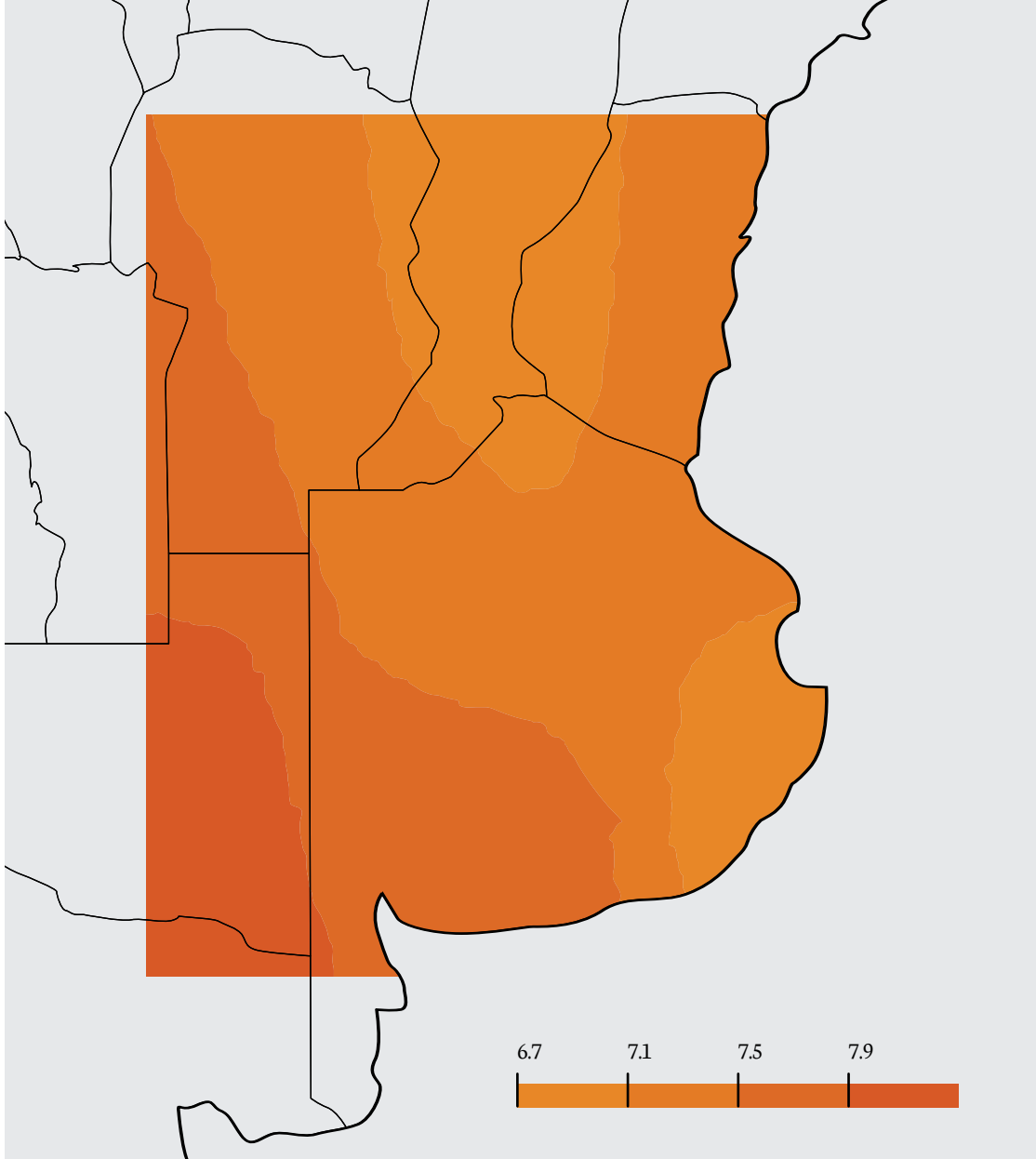
Paraná

 Nublado  $k_t < 0,3$

 Despejado  $k_t > 0,7$

 Parcialmente cubierto con dominancia de radiación difusa  $0,3 < k_t < 0,5$

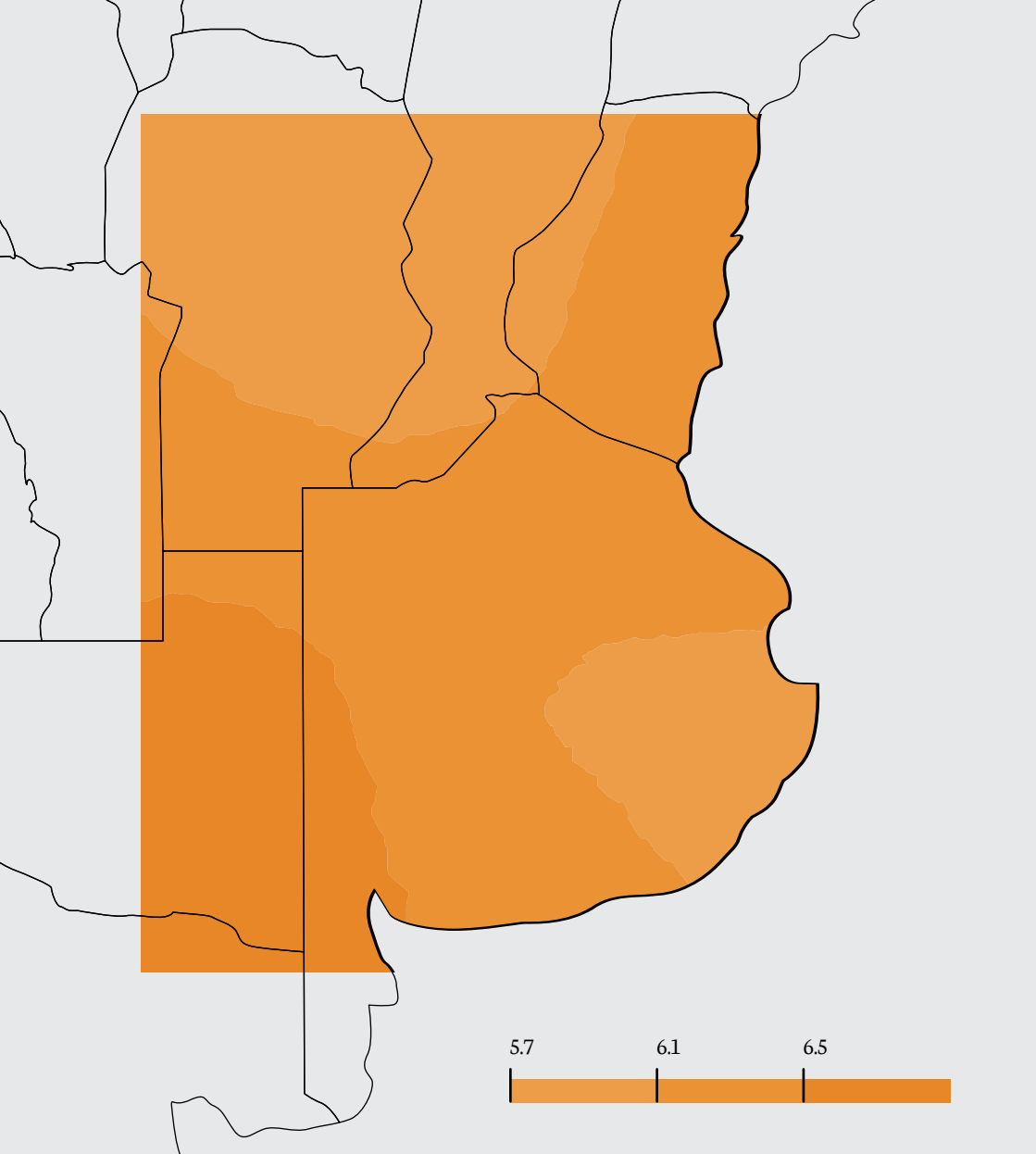
 Parcialmente cubierto con dominancia de radiación directa  $0,5 < k_t < 0,7$



# **Irradiación diaria Promedio Enero**

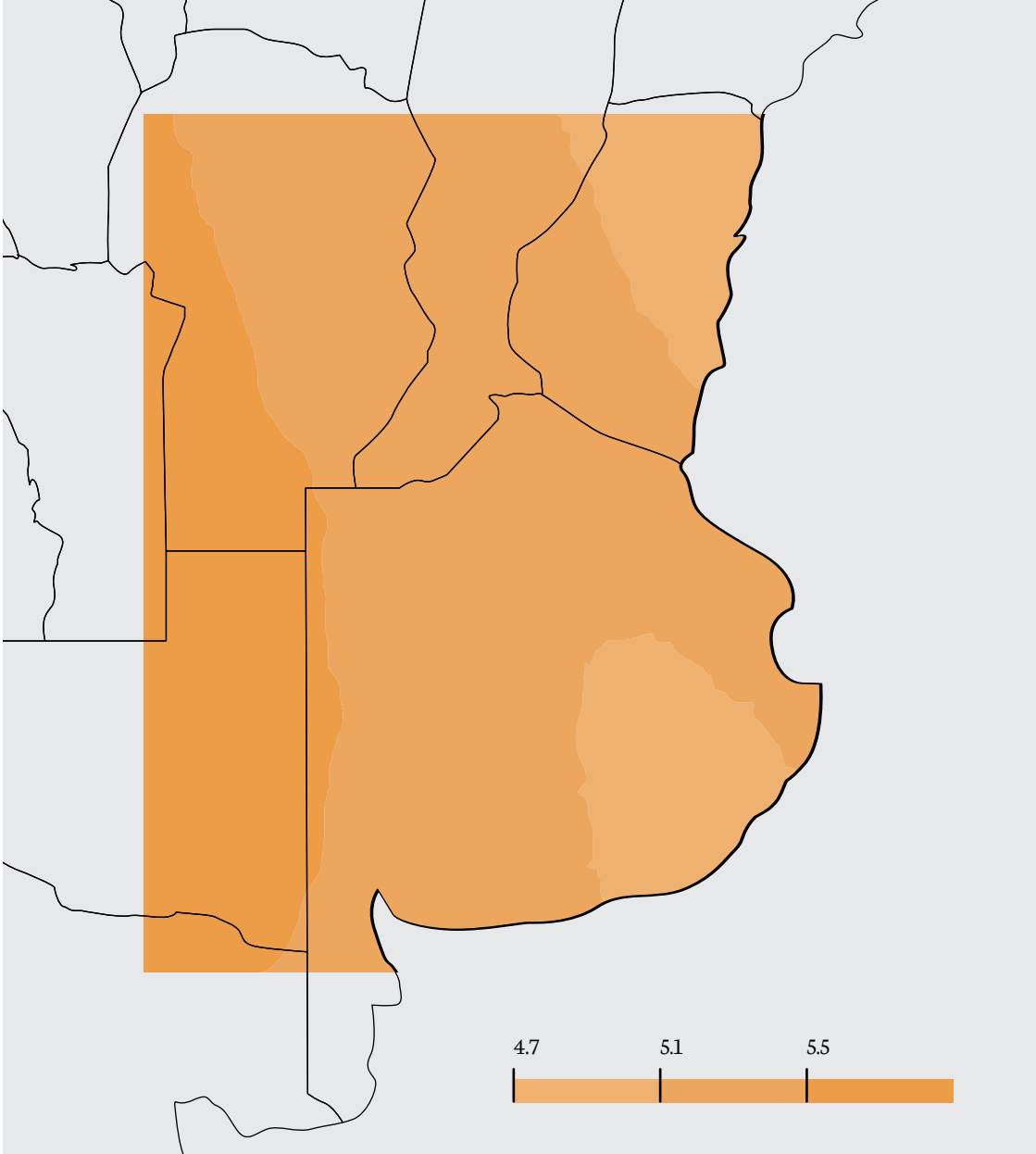
En kWh/m<sup>2</sup> día





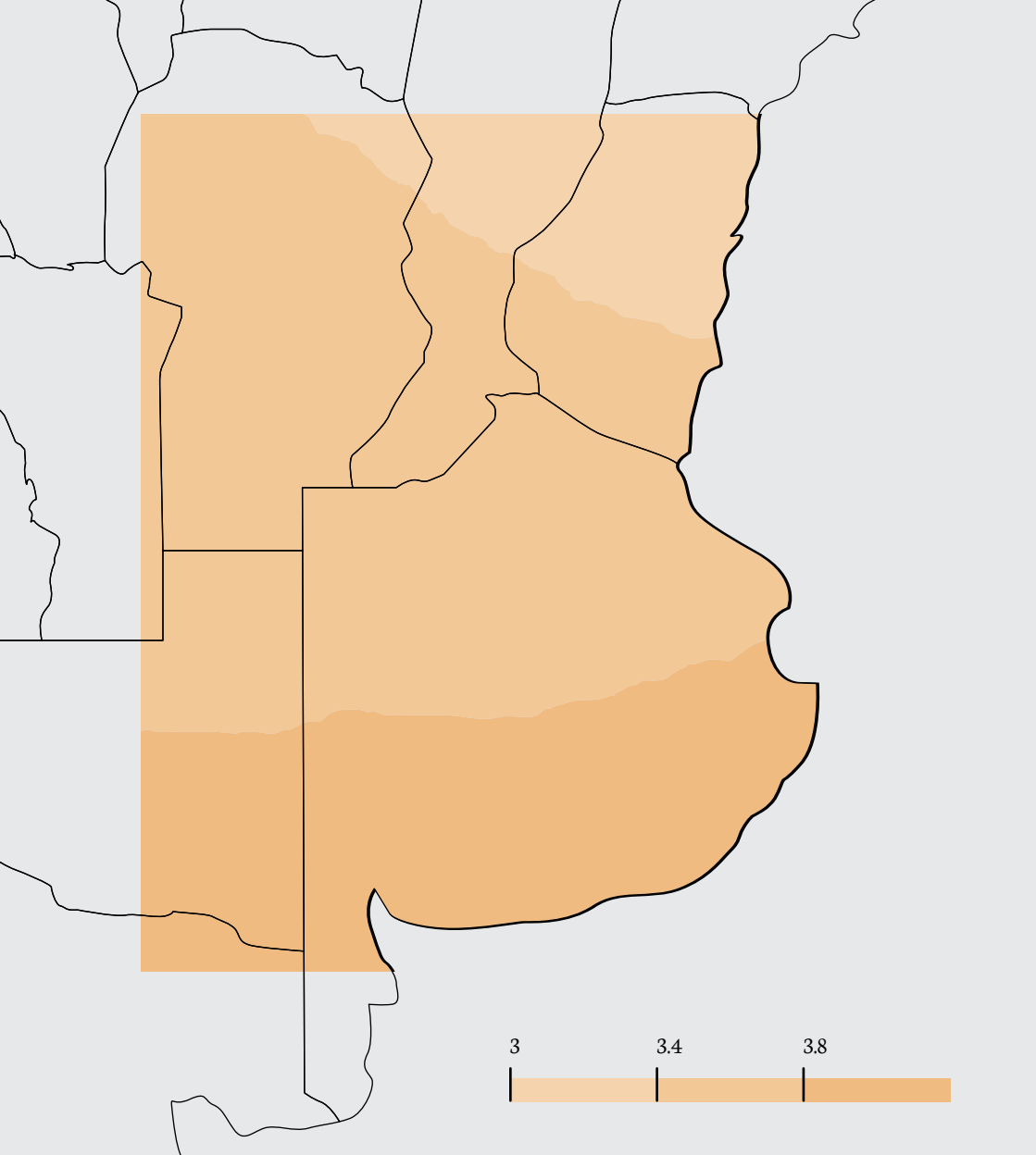
# Irradiación diaria Promedio Febrero

En kWh/m<sup>2</sup> día



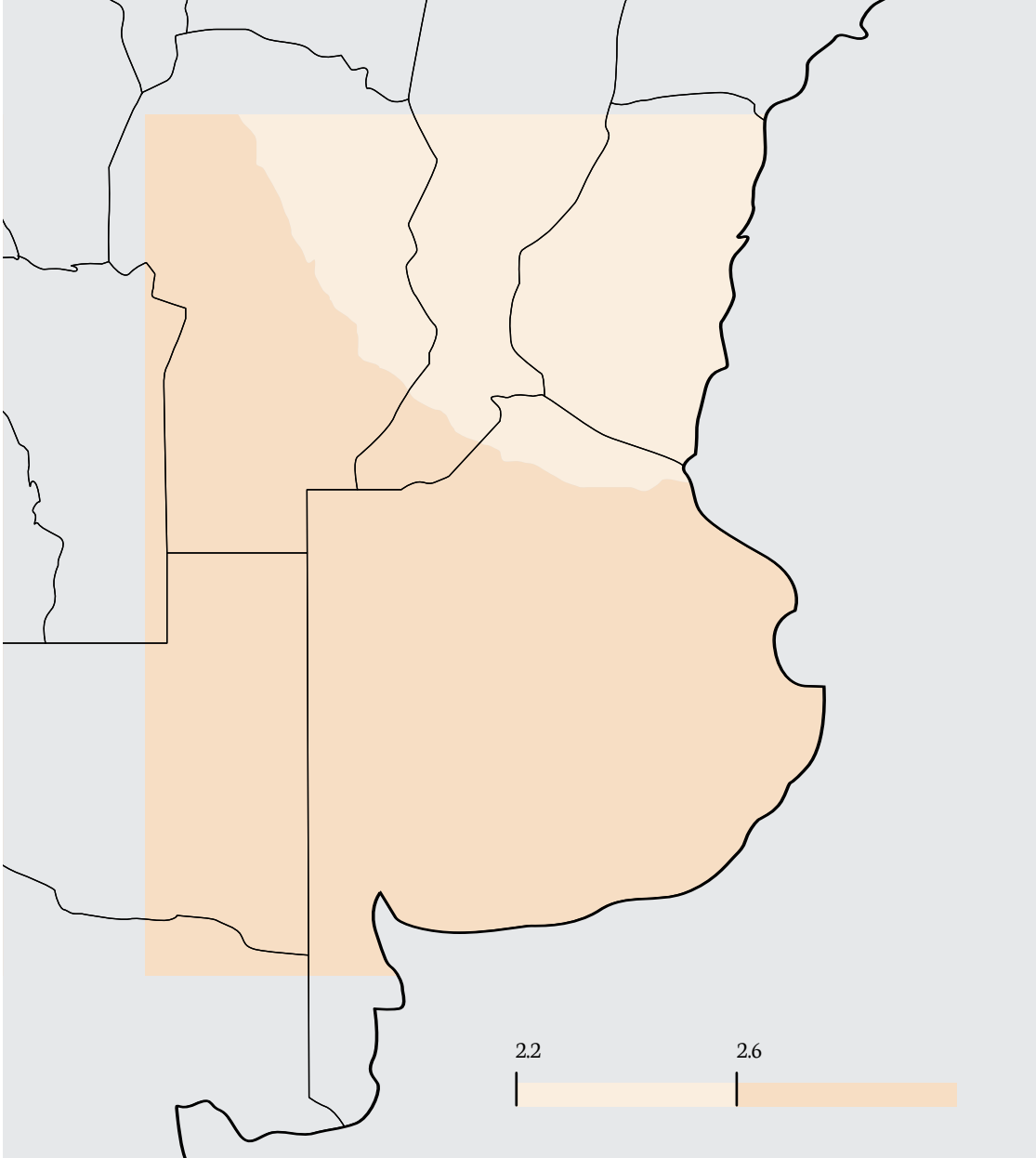
## **Irradiación diaria Promedio Marzo**

En kWh/m<sup>2</sup> día



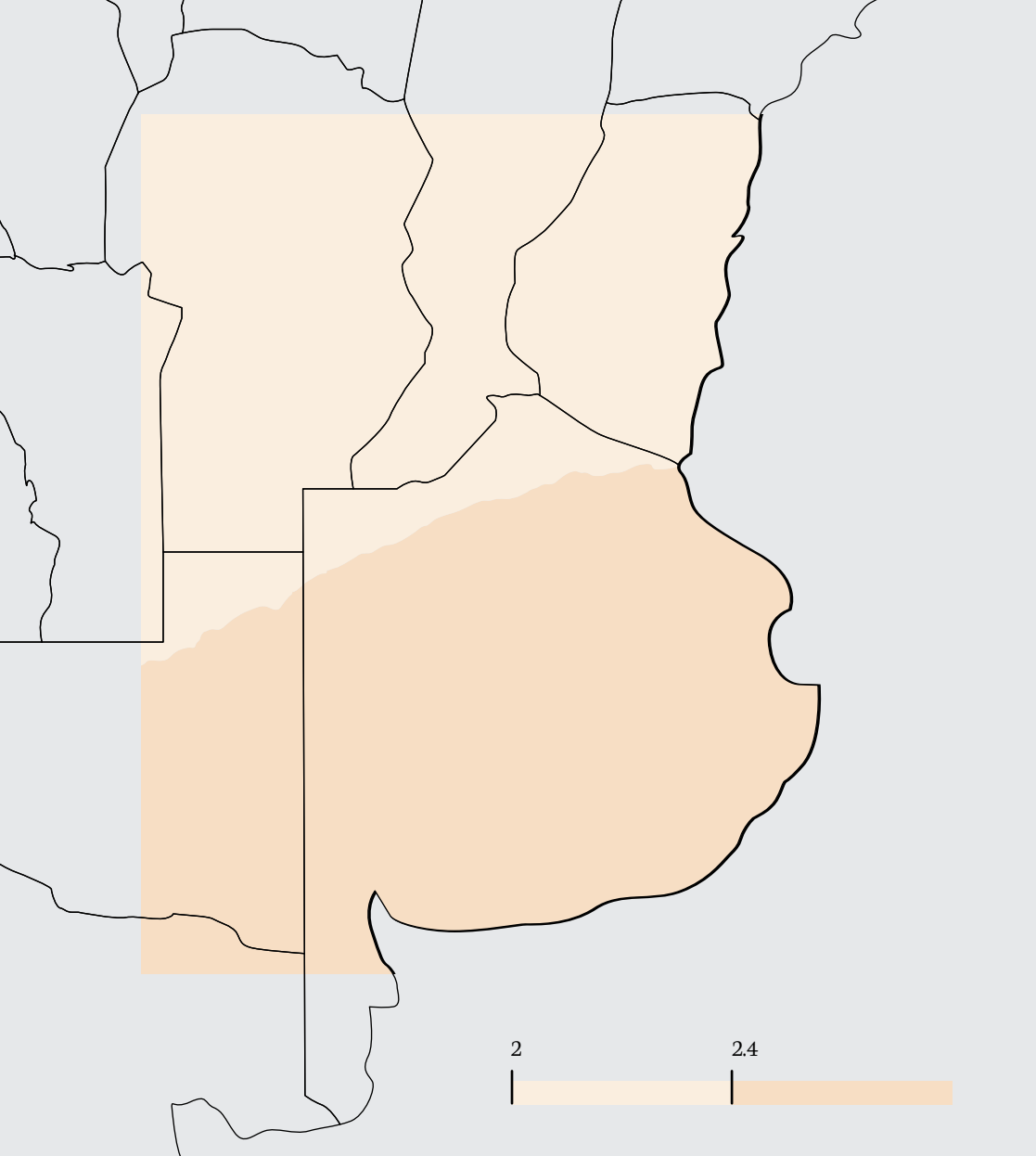
## Irradiación diaria Promedio Abril

En kWh/m<sup>2</sup> día



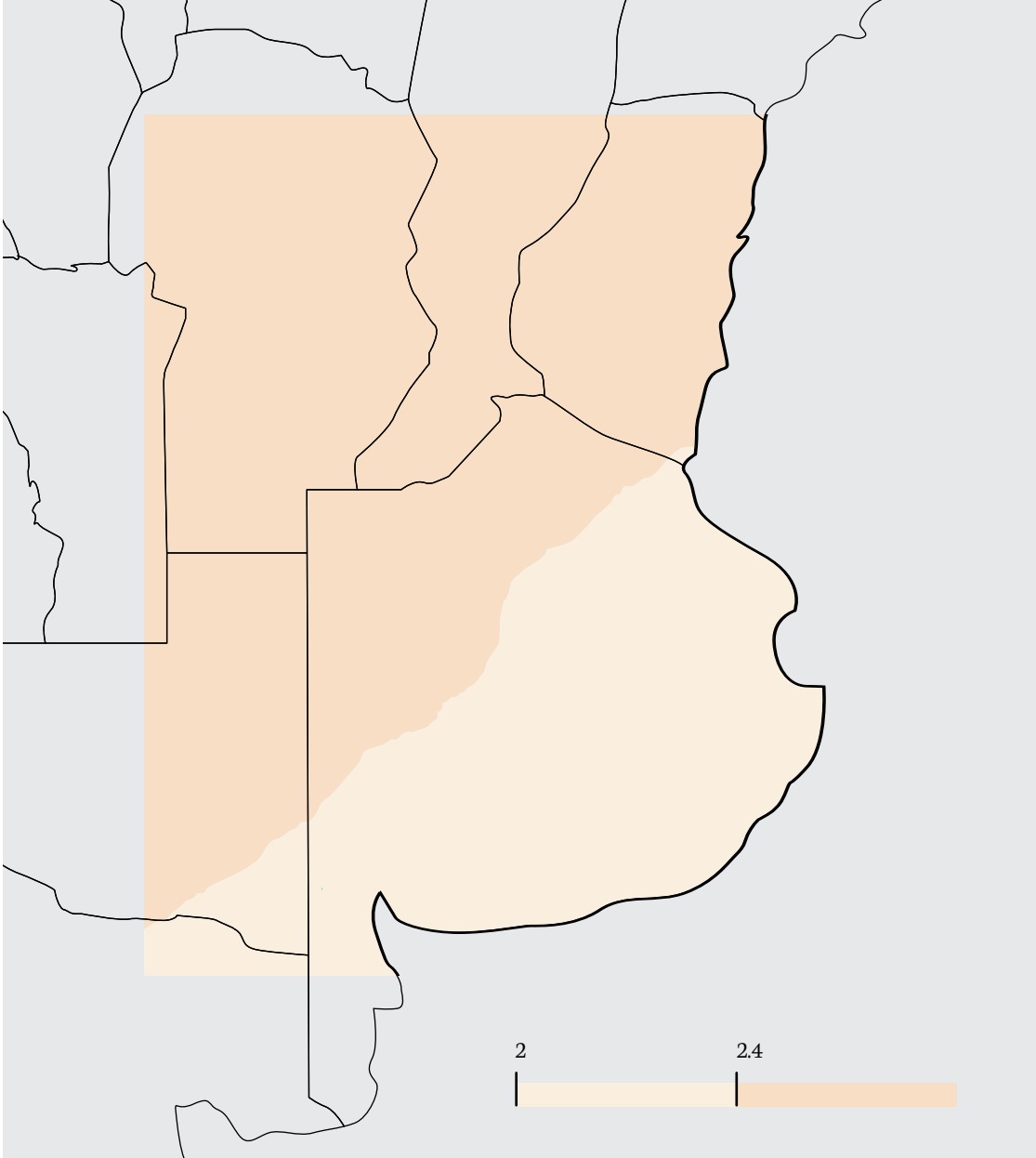
## **Irradiación diaria Promedio Mayo**

En kWh/m<sup>2</sup> día



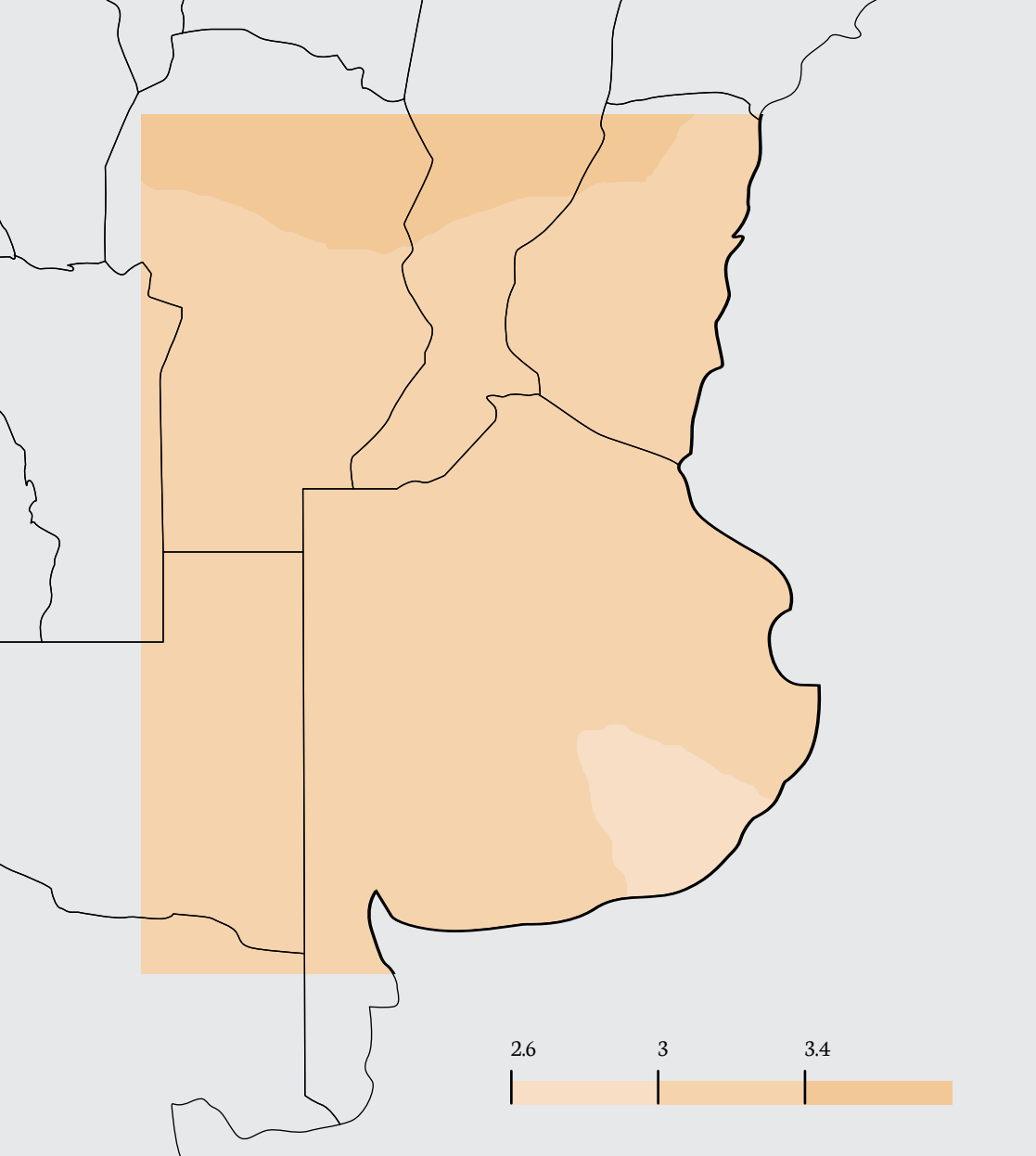
## **Irradiación diaria Promedio Junio**

En kWh/m<sup>2</sup> día



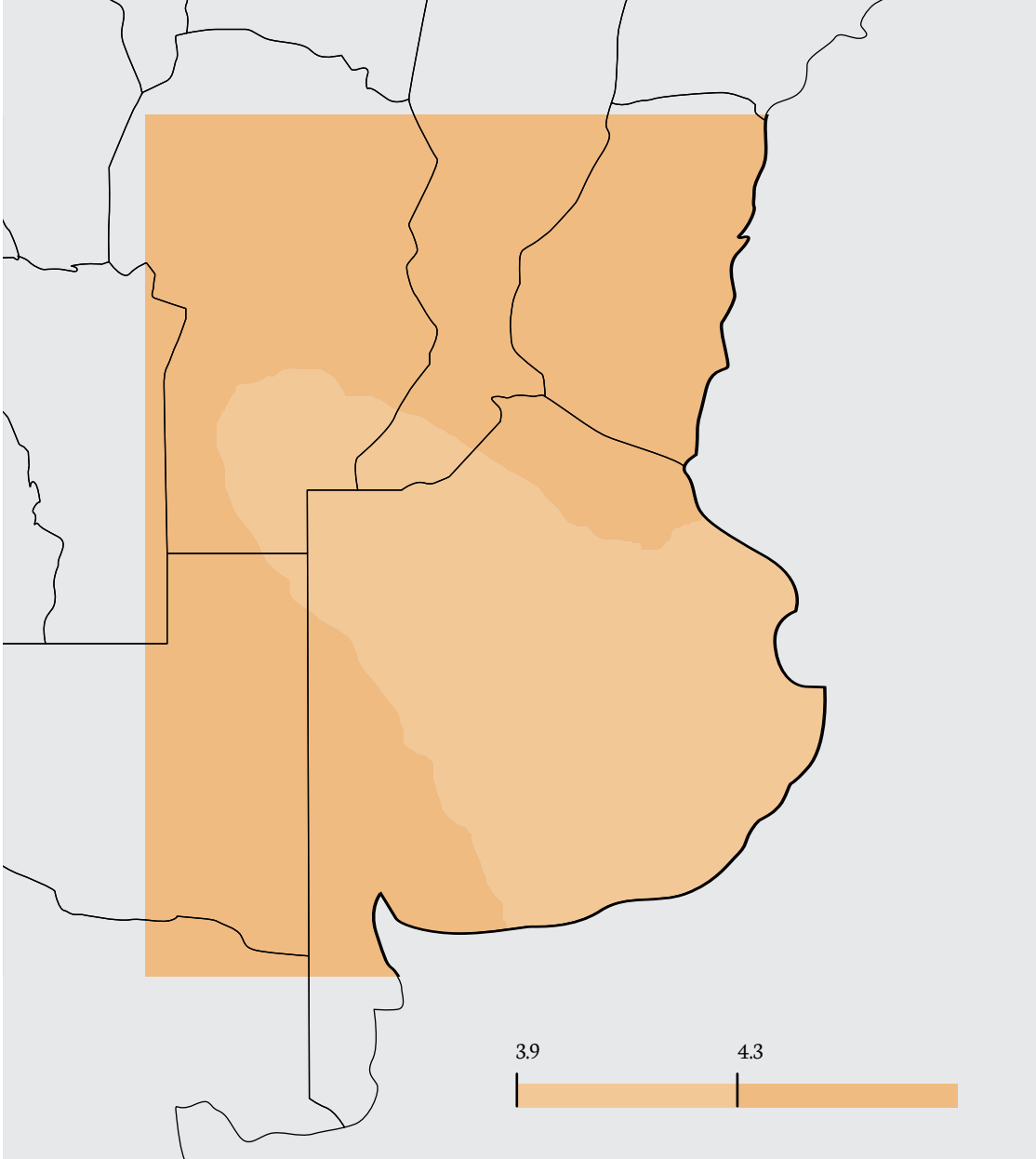
## **Irradiación diaria Promedio Julio**

En kWh/m<sup>2</sup> día



## **Irradiación diaria Promedio Agosto**

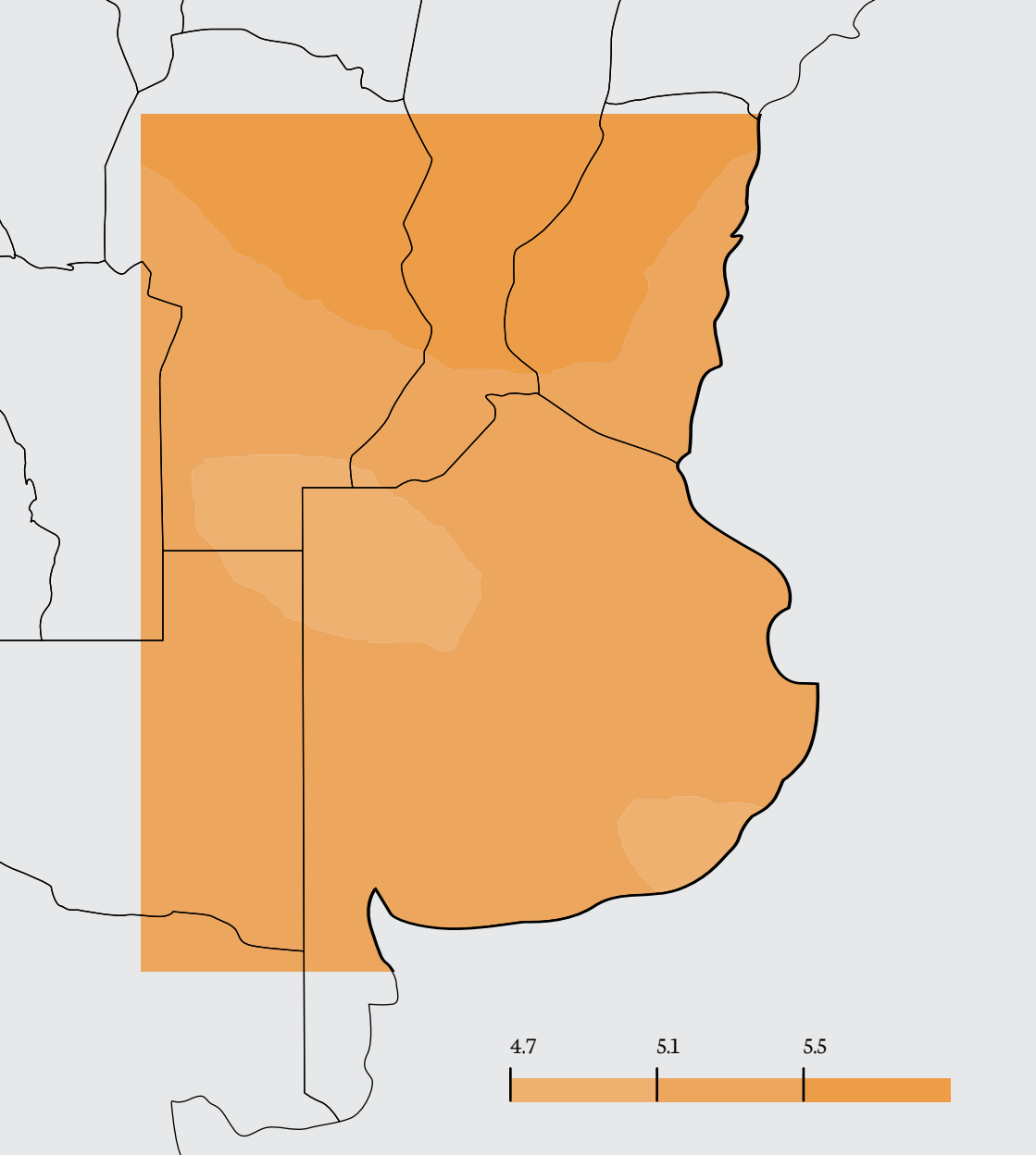
En kWh/m<sup>2</sup> día



## Irradiación diaria Promedio Septiembre

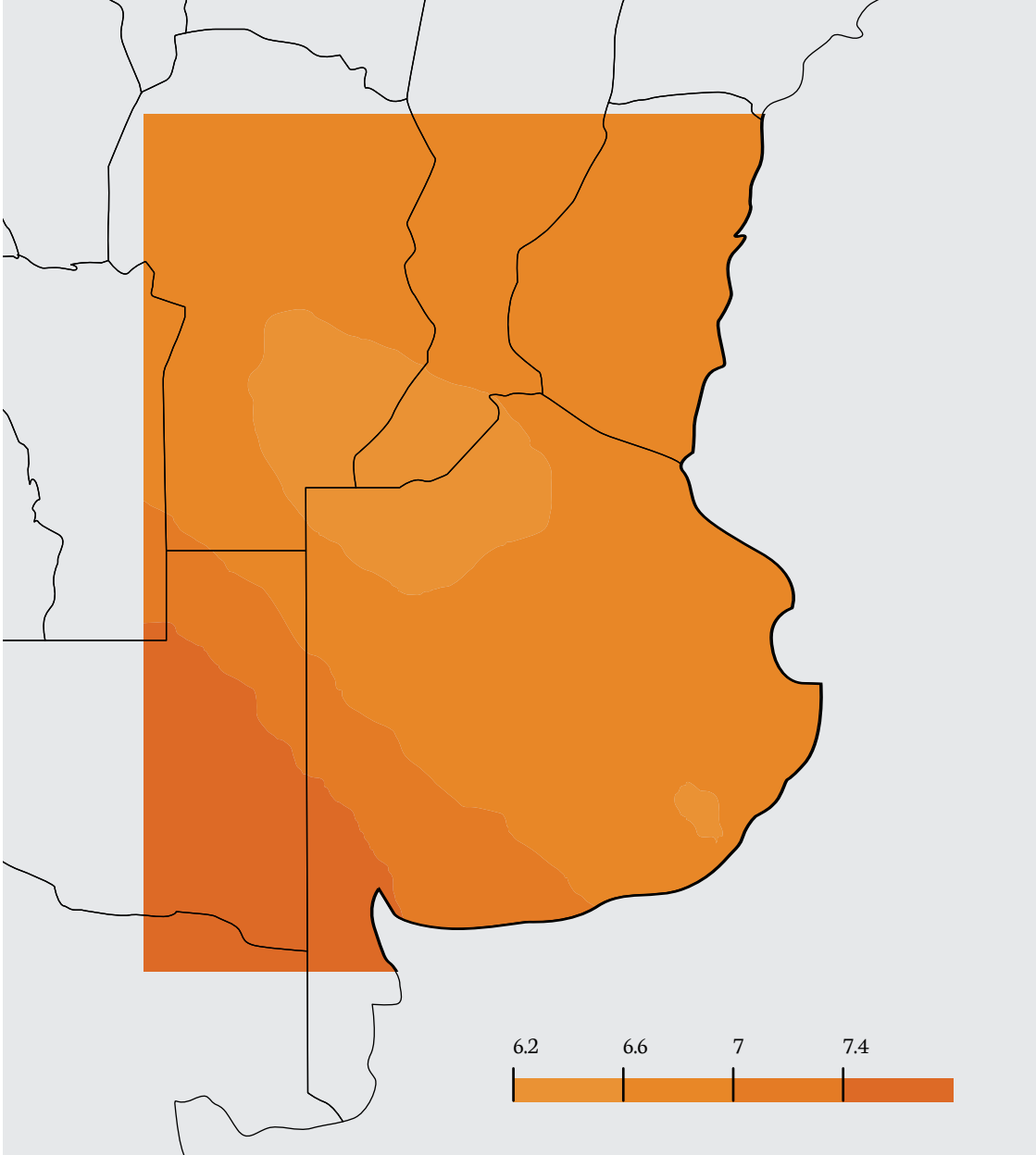
En kWh/m<sup>2</sup> día





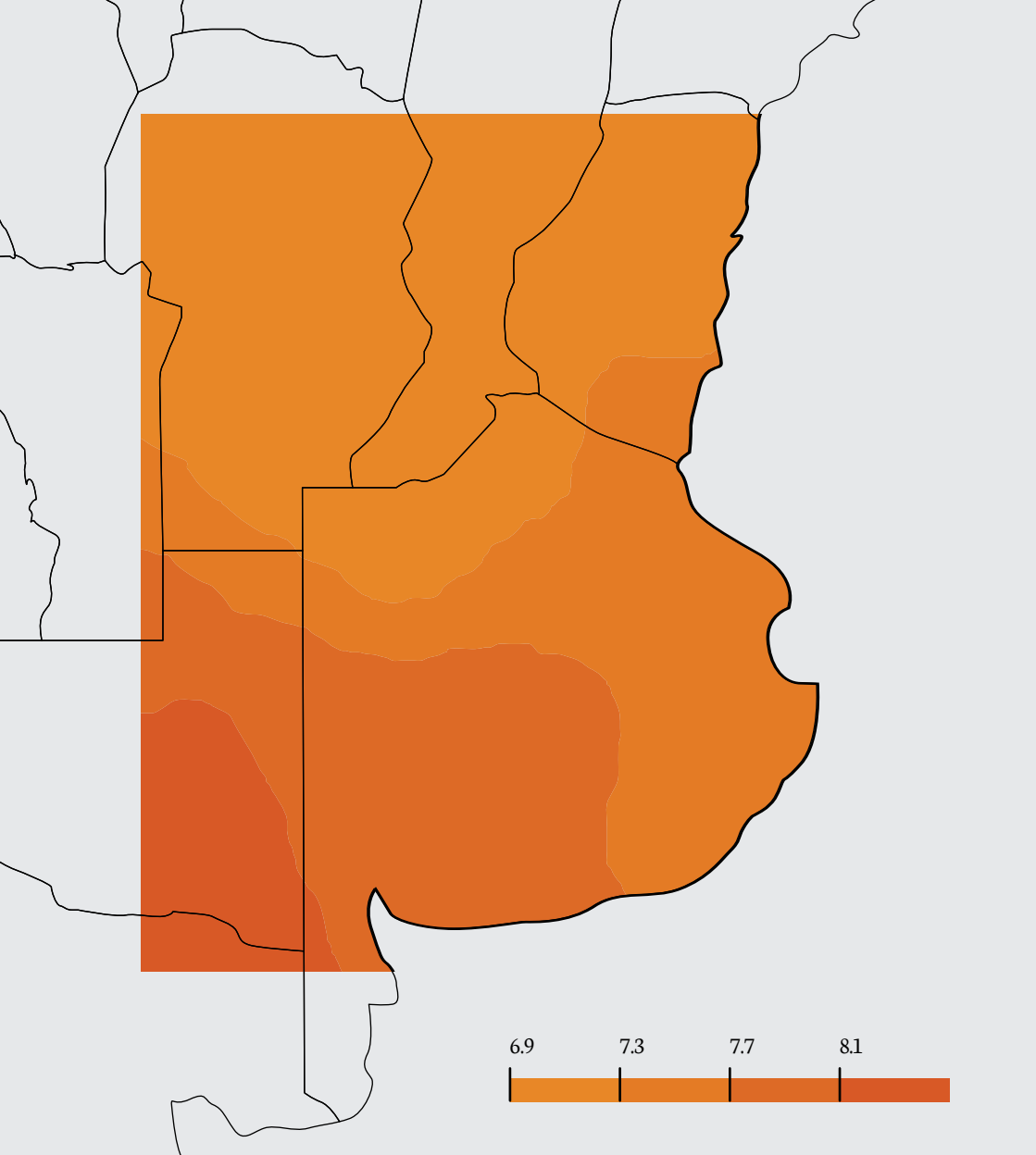
## Irradiación diaria Promedio Octubre

En kWh/m<sup>2</sup> día



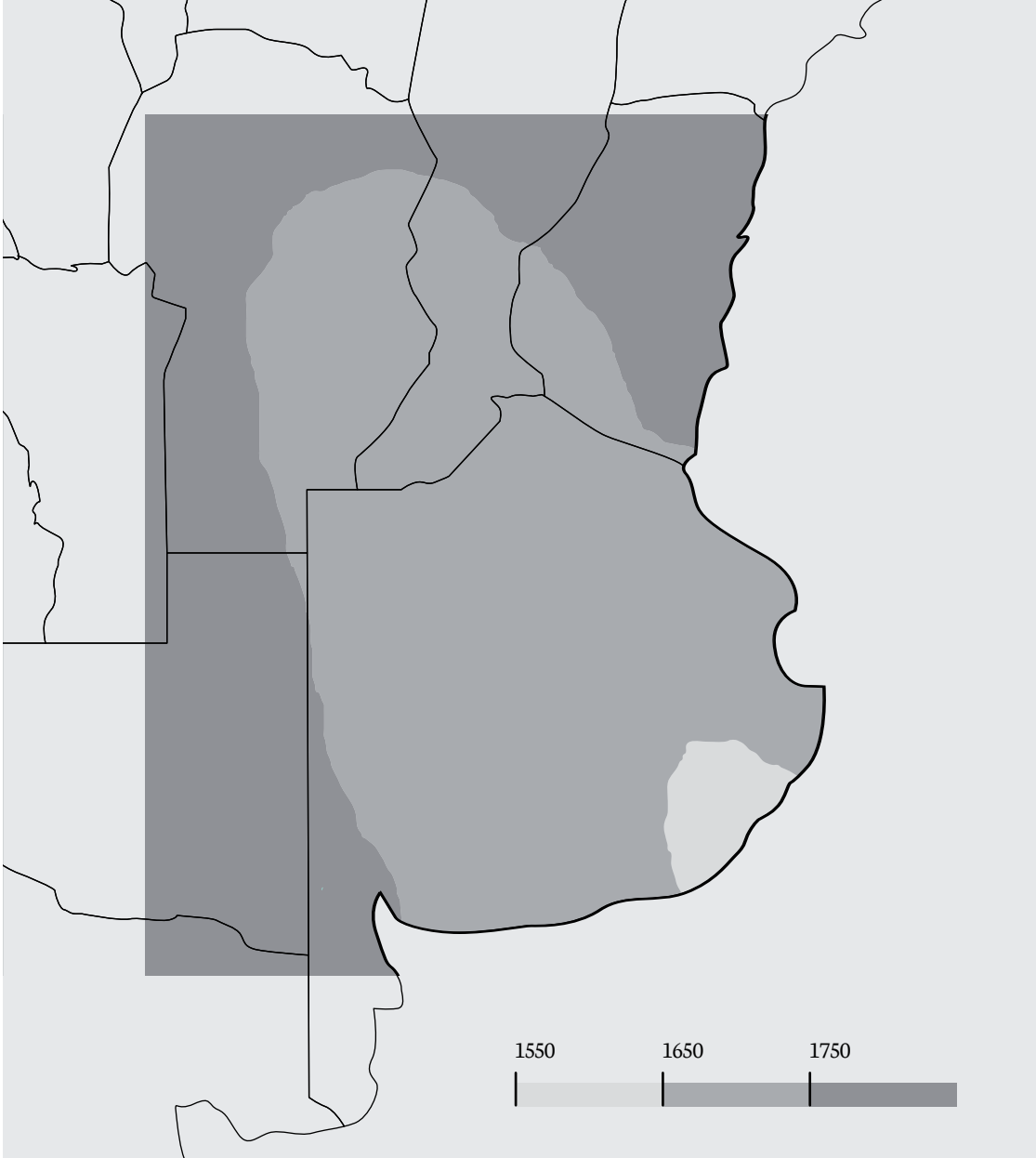
## **Irradiación diaria Promedio Noviembre**

En kWh/m<sup>2</sup> día



## **Irradiación diaria Promedio Diciembre**

En kWh/m² día



## **Irradiación acumulada Promedio anual**

En kWh/m<sup>2</sup> año

# GERSolar

[gersolar.unlu@gmail.com](mailto:gersolar.unlu@gmail.com)

[www.gersol.unlu.edu.ar](http://www.gersol.unlu.edu.ar)

Rosana Aristegui

Sebastián Bazán

María José Denegri

Andrés Domenech

Anahí Lanson

Julián Lell

Sergio Luza

Raúl Righini

Valeria Stern

# INTA

María Laura Belmonte

Marta Borda

Matías Cambareri

Néstor Garciarena

Sebastián Muñoz

Marta Perez

Gabriela Posse

Hernán Sceglío

Nicolás Vaiman





