

# MANUAL de USOS CONSUNTIVOS del AGUA en BRASIL



AGÊNCIA NACIONAL DE AGUAS  
Y SANEAMIENTO - BRASIL



## **República Federativa de Brasil**

*Jair Bolsonaro*

Presidente de la República

## **Ministerio del Desarrollo Regional**

*Rogério Simonetti Marinho*

Ministro

## **Agencia Nacional de Aguas y Saneamiento**

### **Junta Directiva Colegiada**

*Christianne Dias Ferreira (Directora-Presidente)*

*Marcelo Cruz*

*Oscar Cordeiro de Moraes Netto*

*Vitor Eduardo de Almeida Saback*

*Joaquim Guedes Corrêa Gondim Filho (provisional))*

*Ricardo Medeiros de Andrade (hasta julio de 2021)*

### **Secretaría Geral (SGE)**

*Rogério de Abreu Menescal*

### **Procuraduría Federal (PF/ANA)**

*Natália de Melo Lacerda*

### **Contraloría (COR)**

*Maurício Abijaodi Lopes de Vasconcellos*

### **Auditoría Interna (AUD)**

*Eliomar Ayres da Fonseca Rios*

### **Chefia de Gabinete (GAB)**

*Thiago Serrat*

### **Gestión General de Estrategia (GGES)**

*Nazareno Marques de Araújo*

### **Superintendencia de Planificación de Recursos Hídricos (SPR)**

*Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares*

### **Superintendencia de Gestión de la Red Hidrometeorológica (SGH)**

*Marcelo Jorge Medeiros*

### **Superintendencia de Operaciones y Eventos Críticos (SOE)**

*Joaquim Guedes Correa Gondim Filho*

### **Superintendencia de Implementación de Programas y Proyectos (SIP)**

*Tibério Magalhães Pinheiro*

### **Superintendencia de Apoyo al Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos (SAS)**

*Humberto Cardoso Gonçalves*

### **Superintendencia de Tecnología de la Información (STI)**

*Sérgio Augusto Barbosa*

### **Superintendencia de Regulación (SRE)**

*Rodrigo Flecha Ferreira Alves*

### **Superintendencia de Fiscalización (SFI)**

*Alan Vaz Lopes*

### **Superintendencia de Administración, Finanzas y Gestión de Personas (SAF)**

*Luís André Muniz*



**AGENCIA NACIONAL DE AGUAS Y SANEAMIENTO**  
**MINISTERIO DEL DESARROLLO REGIONAL (MDR)**

# **Manual de Usos Consuntivos del Agua en Brasil**

**SUPERINTENDENCIA DE PLANIFICACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS (SPR)**

**BRASÍLIA - DF**  
**ANA**  
**2021**

**© 2021, Agência Nacional de Águas y Saneamiento – ANA.**

Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M e T.

CEP: 70610-200, Brasília – DF.

PABX: (61) 2109-5400 | (61) 2109-5252

Sítio Web: [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br)

**COMITÉ DE EDICIÓN DE LIBROS**

Vitor Eduardo de Almeida Saback

**Director**

Humberto Cardoso Gonçalves

Joaquim Guedes Correa Gondim Filho

Flávio Hadler Tröger

**Superintendentes**

Rogério de Abreu Menescal

**Secretario Ejecutivo**

*Esta publicación ha sido preparada en cooperación con la UNESCO como parte del Proyecto 586RLA2001. El proyecto tiene el objetivo de apoyar la formación y consolidación de capacidades técnicas, institucionales y legales para la gestión integrada y el uso sostenible de los recursos hídricos en América Latina y el Caribe, y la Comunidad de Países de Lengua Portuguesa (CPLP). Las designaciones empleadas y la presentación del material en esta publicación no implican la expresión de ninguna opinión de parte de la UNESCO o del Instituto de la UNESCO para el Aprendizaje a lo Largo de Toda la Vida en lo referente a la condición jurídica de ninguno de los países o territorios, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no son necesariamente las de la UNESCO y no comprometen a la Organización.*

**EQUIPO EDITORIAL**

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Thiago Henriques Fontenelle

Candice Schauffert Garcia

Laertes Munhoz da Cunha

**Seguimiento editorial**

Agencia Nacional de Aguas e Saneamiento

RHA Engenharia e Consultoria SS Ltda

**Elaboración de los originales y Producción**

Alexandre Lima de Figueiredo Teixeira

Marcus André Fuckner

Thiago Henriques Fontenelle

**Revisión de los originales**

Adílio Lemos da Silva

Anderson Araujo de Miranda

Lucas Andrade

**Proyecto gráfico, diagramación e infografía**

Anderson Araujo de Miranda

Isabela Raquel Ramos Iensen

**Mapas Temáticos**

Banco de imágenes da ANA

**Fotografías**

Las ilustraciones, tablas y gráficos sin indicación de la fuente fueron preparados por ANA.

**Todos los derechos reservados**

Se permite la reproducción de los datos y la información contenida en esta publicación, siempre que se cite la fuente.

**Traducción**

Miqueias Rodrigues

**Catalogación en la fuente - CEDOC/Biblioteca**

**A265m**

Agencia Nacional de Aguas y Saneamiento (Brasil).

Manual de Usos Consuntivos del Agua en Brasil /

Agencia Nacional de Aguas e Saneamiento. - Brasília: ANA, 2021.

75 p.: il.

ISBN: 978-65-88101-18-6

1. Água - Uso. Agua - Oferta y Demanda I. Título.

**CDU 628.1(035)**

**Preparado por Fernanda Medeiros – CRB-1/1864**



## **Agencia Nacional de Aguas y Saneamiento**

### **Superintendencia de Planificación de Recursos Hídricos**

#### **Coordinación General**

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares  
Flávio Hadler Troger

#### **Coordinación Ejecutiva**

Thiago Henriques Fontenelle  
Gaetan Serge Jean Dubois  
Paulo Marcos Coutinho dos Santos  
Alexandre Lima de Figueiredo Teixeira

#### **Colaboradores**

Adalberto Meller  
Ana Catarina Nogueira da Costa Silva  
Bolívar Antunes Matos  
Daniel Assumpção Costa Ferreira  
Elizabeth Siqueira Juliatto  
João Augusto Bernaud Burnett  
Marcela Ayub Brasil Barreto  
Marcus André Fuckner  
Wagner Martins da Cunha Vilella

## **RHA Engenharia e Consultoria**

#### **Coordinación General**

Laertes Munhoz da Cunha  
Candice Schaufert Garcia

#### **Coordinación Ejecutiva**

Candice Schaufert Garcia

#### **Consultores**

Eloy Kavisky  
Fabiano Saraiva  
Fernando Falco Pruski  
Irani dos Santos

#### **Equipo Técnico**

Bogodar Szpak  
Bruna Daniela de Araujo Taveira  
Cesar Augusto Crovador Siefert  
Daniele Félix  
Fernando Helmuth Syring Marangon  
Gilson Bauer Schultz  
Isabela Raquel Ramos Iensen  
Laisi Bellon Cesconetto  
Luiz Fujio Kamogawa  
Renata Del Giudice Rodriguez  
Rodolpho Humberto Ramina  
Wesley Nelson Antal

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>6</b>	5.2 Método y Base de Datos	38	<b>8 EVAPORACIÓN LÍQUIDA DE EMBALSES</b>	
<b>1 CONTEXTO.....</b>	<b>8</b>	5.3 Resultados	40	<b>ARTIFICIALES .....</b>	<b>63</b>
<b>2 SUMINISTRO HUMANO .....</b>	<b>14</b>	<b>6 AGRICULTURA DE RIEGO .....</b>	<b>42</b>	8.1 Introducción	63
2.1 Introducción	14	6.1 Introducción	42	8.2 Método y Base de Datos	64
2.2 Método y Base de Datos	16	6.2 Método y Base de Datos	43	8.3. Resultados	65
2.3 Resultados	20	6.2.1 Precipitación Efectiva	45	<b>CONSIDERACIONES FINALES .....</b>	<b>68</b>
<b>3 SUMINISTRO ANIMAL.....</b>	<b>23</b>	6.2.2 Evapotranspiración	46	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>70</b>
3.1 Introducción	23	6.2.3 Áreas de riego y Cultivos	47		
3.2 Método y Base de Datos	24	6.2.4 Sistemas de Riego	49		
3.3 Resultados	28	6.2.5 Caña de Azúcar y Arroz inundado	49		
<b>4 INDÚSTRIA DE TRANSFORMACIÓN.....</b>	<b>30</b>	6.2.6 Caudal Total para Riego	54		
4.1 Introducción	30	6.3 Resultados	55		
4.2 Método y Base de Datos	31	<b>7 TERMoeLETRICIDAD .....</b>	<b>57</b>		
4.3 Resultados	34	7.1 Introducción	57		
<b>5 MINERÍA.....</b>	<b>37</b>	7.2 Método y Base de Datos	58		
5.1 Introducción	37	7.3 Resultados	61		



## PRESENTACIÓN

Canal Sistema Presa – Pedra do Cavalo – BA  
Eraldo Peres --Banco de imágenes/ANA

Brasil es un país privilegiado en términos de disponibilidad hídrica total; sin embargo, la ocurrencia de agua es desigual en el territorio y durante el año, así como la demanda de su uso y la infraestructura hídrica adecuada para su uso y conservación. La cultura de la abundancia de agua ha sido progresivamente sustituida por la idea del agua como bien finito y dotado de valor económico, haciendo cada vez más importante el análisis del equilibrio entre el uso y el suministro de agua, al revelar regiones con déficit de acceso al agua y riesgo para los sectores productivos.

En el desempeño de su misión institucional de garantizar la seguridad hídrica para el desarrollo sostenible de Brasil, la Agencia Nacional del Agua y Saneamiento - ANA, entidad responsable de la implementación de la Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH y de la coordinación de la gestión compartida e integrada en el ámbito del SINGREH - Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, busca permanentemente la expansión del conocimiento sobre el balance hídrico en todo el territorio nacional.

Esta expansión se produce a través de estudios que dan como resultado avances metodológicos, encuestas de datos primarios, desarrollo tecnológico y alianzas con instituciones de referencia. Una información consistente y actualizada sobre el balance hídrico cuantitativo nacional, es decir, la relación entre la oferta y la demanda de agua, a las escalas adecuadas, es fundamental para la toma de decisiones necesarias para garantizar la seguridad hídrica de la población y el desarrollo de las actividades económicas.

El Manual de Usos Consuntivos del Agua en Brasil es parte de un estudio integral, que incluyó la definición de métodos, la construcción de bases de datos y la producción, almacenamiento y disponibilidad de resultados

de las estimaciones de los usos consuntivos del agua para todos los municipios brasileños, siguiendo la evolución de la red territorial desde 1931 (1.365 municipios) hasta la actualidad (5.570 municipios). También se hicieron proyecciones de la demanda hasta 2030, totalizando así 100 años de investigación sobre el uso del agua.

Las categorías de uso del agua consideradas son el suministro humano (urbano y rural), el suministro animal, la industria de transformación, la minería, la termoelectricidad y el riego. Además, se realizó un diagnóstico de la evaporación líquida de embalses artificiales que, individualmente, pueden estar asociados a un uso específico del agua (riego, acuicultura, abastecimiento público, generación de energía, etc.) o tener múltiples usos.

Durante la realización de este estudio se analizaron los métodos y bases de datos utilizados en estudios anteriores, incorporando los procedimientos considerados relevantes y proponiendo los consiguientes avances en la disponibilidad de nuevas bases de datos y avances tecnológicos para el tratamiento de la información. Entre estos estudios previos, sobresalen, en el ámbito nacional, las primeras encuestas preparadas para el Plan Nacional de Recursos Hídricos (ANA, 2005; Brasil, 2006) y para el primer informe de Panorama de los Recursos Hídricos en Brasil (ANA, 2009), además de los importantes esfuerzos de estimación del uso del agua realizados por el Operador Nacional del Sistema Eléctrico - ONS (2003; 2005) y por el Ministerio del Medio Ambiente - MMA (Brasil, 2011).

En cuanto a los métodos, investigamos los coeficientes técnicos disponibles en la literatura y su adherencia a los datos disponibles, resultando en revisiones significativas de los coeficientes adoptados hasta ese momento. Para la industria, el suministro urbano y el riego, que

representan más del 80% del uso del agua en el país, este estudio presenta coeficientes inéditos, con un alto grado de detalle.

En cuanto a las bases de datos para la aplicación de los coeficientes, también se investigaron y adoptaron nuevas fuentes y tipos de datos, siempre en la búsqueda constante de la mejora del resultado final, que retrata las acciones humanas que intervienen en la demanda hídrica y, en consecuencia, en el balance hídrico nacional. También se recuperaron bases de datos históricas en documentos analógicos, que fueron revisadas, consolidadas y completadas utilizando los criterios técnicos actuales. Estos criterios incluyeron una mayor precisión en la agregación y desagregación de los datos municipales, siguiendo la evolución de la red territorial brasileña, que sufrió profundas transformaciones en el período analizado.

Para la presentación de los resultados, el diagnóstico se basa en 2017 y el pronóstico en 2030. Las series de caudales de usos consuntivos se generaron en línea con la evolución de la red municipal, teniendo como insumo las variables que influyen en las demandas, seleccionadas por su disponibilidad y representatividad, así como las matrices de coeficientes técnicos y otras informaciones asociadas. La base territorial de la mayor parte de las informaciones es el municipio.

En el primer capítulo se contextualizan los principales conceptos asociados a la estimación de la demanda de agua, así como las principales cifras y tendencias observadas en los resultados globales y sectoriales. Los otros capítulos detallan, por uso, las metodologías, bases de datos y principales resultados, comenzando por el suministro humano (urbano y rural) y siguiendo por el suministro animal, la industria de transformación, la minería, la agricultura de riego, la termoelectricidad y

la evaporación líquida de embalses artificiales. En este último uso, las series se estimaron sólo para el período más reciente, debido a la falta de datos históricos sobre la zona ocupada y las fechas de construcción y relleno.

El Manual proporciona, por lo tanto, una nueva base técnica sobre los usos del agua en Brasil, tanto en términos metodológicos como en términos de los resultados generados y sus aplicaciones. Como referencia del País en la materia, debe ser un punto de partida para su mejora continua a escala nacional, así como para las iniciativas relacionadas con el perfeccionamiento y la adaptación de los métodos y estimaciones de los caudales de los usos consuntivos del agua a las especificidades regionales, estacionales y sectoriales.

Los resultados desagregados de la serie de usos consuntivos, por municipio, así como los mapas interactivos y los paneles de indicadores, pueden consultarse en el Sistema Nacional de Información sobre Recursos Hídricos – SNIRH, en [www.snirh.gov.br](http://www.snirh.gov.br) > Usos da Água



## 1 CONTEXTO

Plantaciones y ganadería a orillas del Río Grande en Indiaporã – SP  
Eraldo Peres – Banco de Imágenes/ANA

Se considera que un uso es consuntivo cuando el agua extraída se consume, parcial o totalmente, en el proceso para el que está destinada, y no regresa directamente al cuerpo de agua. El consumo puede producirse por evaporación, transpiración, incorporación a productos, consumo de seres vivos, entre otros. La definición y estimación del consumo puede ser subjetiva y variar según las diferentes aplicaciones de las estimaciones.

Los usos del agua como la navegación, la pesca, el turismo y el ocio no afectan directamente a la cantidad de agua local, aunque dependen de ella, siendo considerados usos no consuntivos, no formando parte del ámbito de este estudio.

Los principales usos consuntivos del agua en Brasil son el suministro humano (urbano y rural), el suministro animal, la industria de transformación, la minería, la termoelectricidad, el riego y la evaporación líquida de embalses artificiales. Para cada uso se caracterizan los caudales de retirada (cantidad recogida de los cuerpos de agua), los caudales de consumo (fracción de la retirada que no retorna a los cuerpos de agua) y los caudales de retorno (fracción de la retirada que retorna al cuerpo de agua) (Figura 1).

La estimación del uso del agua es un desafío, especialmente considerando la escala espacial (nacional, por municipio) y temporal (mensual, de 1931 a 2030). Los inventarios de mediciones son escasos en Brasil, incluso a escala de un solo municipio o de una pequeña cuenca hidrográfica.

El inventario de registros y permisos de uso del agua (autorizaciones) es útil para varias aplicaciones, pero tampoco garantiza la exactitud en cuanto a los volúmenes efectivamente utilizados, ya que el valor concedido tiende a un límite máximo de suministro, como una industria que opera con el 100% de la capacidad instalada o un municipio que aspira a satisfacer a su creciente población en un horizonte futuro. Los caudales medios efectivos tienden a ser más bajos, especialmente para los grandes usuarios.

Además, la mayoría de las concesiones son otorgadas por los Estados, que se encuentran en diferentes etapas de implementación de los instrumentos de gestión de los recursos hídricos, es decir, con diferentes niveles de cobertura y consistencia de las concesiones en relación con el universo de usuarios.

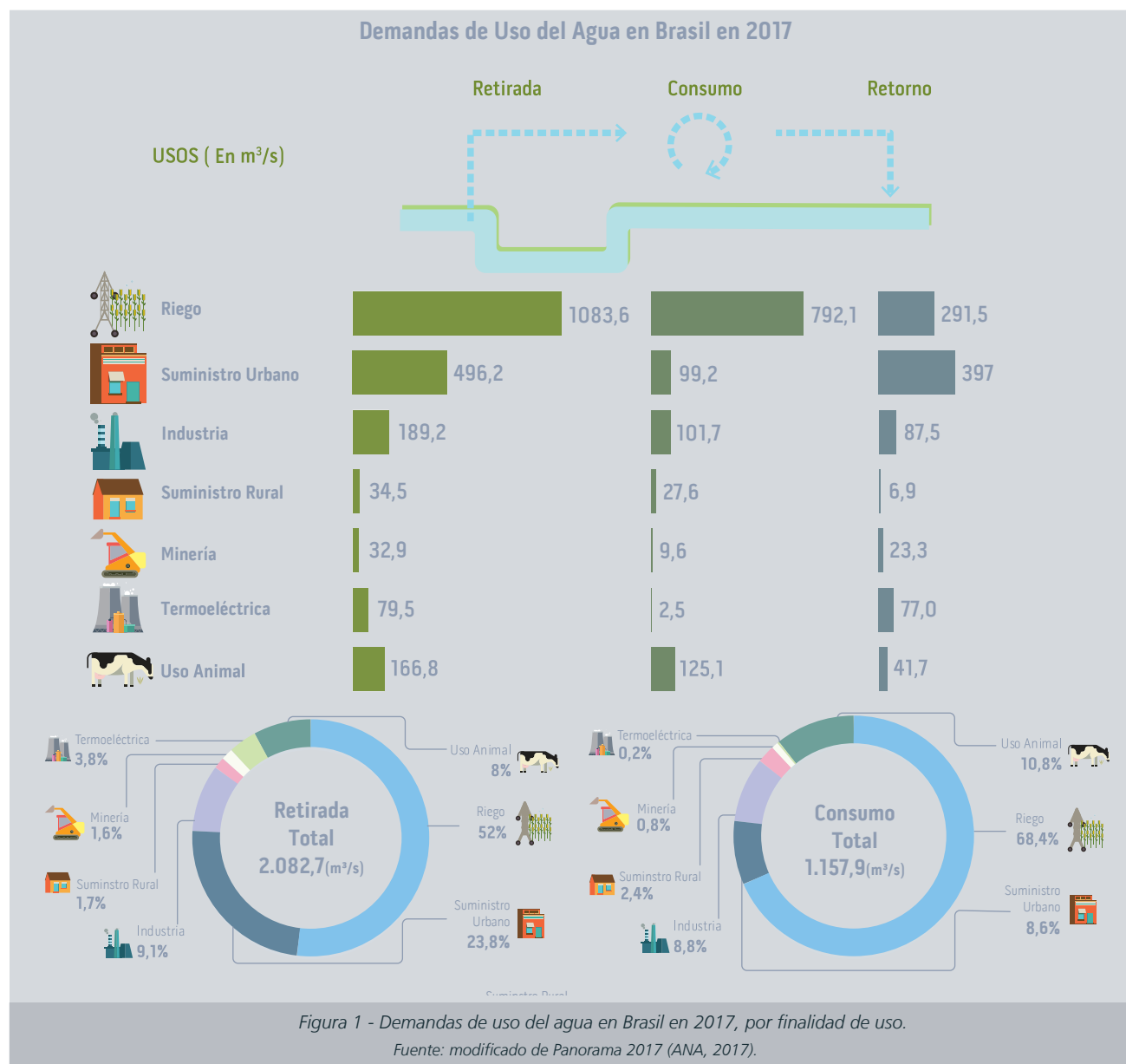
Las metodologías indirectas surgen como una alternativa necesaria para calcular el uso del agua, guiando la planificación y gestión del sector y de los recursos hídricos. En general, estas metodologías utilizan coeficientes técnicos que asocian las variables inventariadas (población, por ejemplo) con una demanda media de agua (litros por habitante por año, por ejemplo).

Los coeficientes técnicos se calculan generalmente a partir de mediciones con un alto grado de precisión, y su aplicación en las estimaciones es una extrapolación espacial y temporal. La aplicación de estos coeficientes es habitual en los estudios de referencia nacionales e internacionales.

El presente estudio investigó los métodos y bases de datos adoptados hasta entonces en Brasil y a nivel internacional, proponiendo cambios expresivos para el refinamiento de las demandas hídricas en todos sus usos. Los siguientes capítulos detallan para cada uso las etapas y criterios de la estimación actual del uso del agua.

A continuación, se destacan las cifras globales y las principales tendencias y estándares observados en los usos consuntivos del agua. Se pueden encontrar resultados más detallados en [www.snirh.gov.br/usuarios-da-agua](http://www.snirh.gov.br/usuarios-da-agua).

La Figura 1 muestra las estimaciones para el país (retirada, consumo y retorno). Actualmente, sin tener en cuenta la evaporación líquida en embalses artificiales (uso múltiple), el riego es responsable del 52% de las extracciones de agua, seguido por el suministro urbano (23,8%), la industria de transformación (9,1%) y el suministro animal (8%). En relación con el consumo, debido a las diferentes proporciones de retorno medio a los cuerpos de agua, la proporción de





usos en el consumo total cambia, con un aumento de la importancia del riego y una disminución del suministro urbano (Figura 1). Cabe destacar la estimación sin precedentes del uso para la generación termoeléctrica, uso que se ha vuelto cada vez más relevante en la actualidad.

La demanda de agua en Brasil está creciendo, con un aumento estimado de aproximadamente el 80% en el total retirado en las últimas dos décadas (Figura 2). Se prevé un aumento de la demanda del 24% para 2030.

La historia de la evolución del uso del agua está directamente relacionada con el desarrollo económico y el proceso de urbanización del país. En la década de 1940, el uso predominante del agua en los municipios brasileños era para el suministro humano rural y el sumi-

nistro animal. Con el desarrollo económico y el avance de la urbanización, la situación actual revela una mayor diversidad de usos, con un aumento de la importancia del uso urbano y una expansión relevante de los usos industriales y de la agricultura de riego (gráficos 2 y 3).

En el período reciente, se ha producido una ligera reducción del crecimiento desde 2012 (Figura 2), un hecho relacionado con la crisis hídrica en varias regiones del país, así como con la desaceleración del crecimiento económico brasileño. El impacto negativo es más sensible en el sector industrial. También se observa a partir de 2012 un aumento en el uso del agua para la generación termoeléctrica, debido a la necesidad de activar esta fuente de energía complementaria, provocada por la reducción del volumen

de agua disponible para la generación hidroeléctrica.

En la Región Norte, las extracciones de agua para las centrales termoeléctricas y el suministro humano urbano son predominantes en la actualidad (Figura 3). En el Sureste, prevalece el suministro urbano y en las demás regiones, el uso para la agricultura de riego.

La agricultura de riego ha sido el uso predominante en el Sur desde la década de 1930, reflejando el espíritu pionero de Rio Grande do Sul en esta práctica, particularmente en la producción de arroz bajo inundación. En el Noreste, por otra parte, la agricultura de riego se convirtió en el principal uso en la segunda mitad de la década de 1990, superando el suministro urbano, lo que refleja las grandes inversiones públicas en infraestructura y financiación del

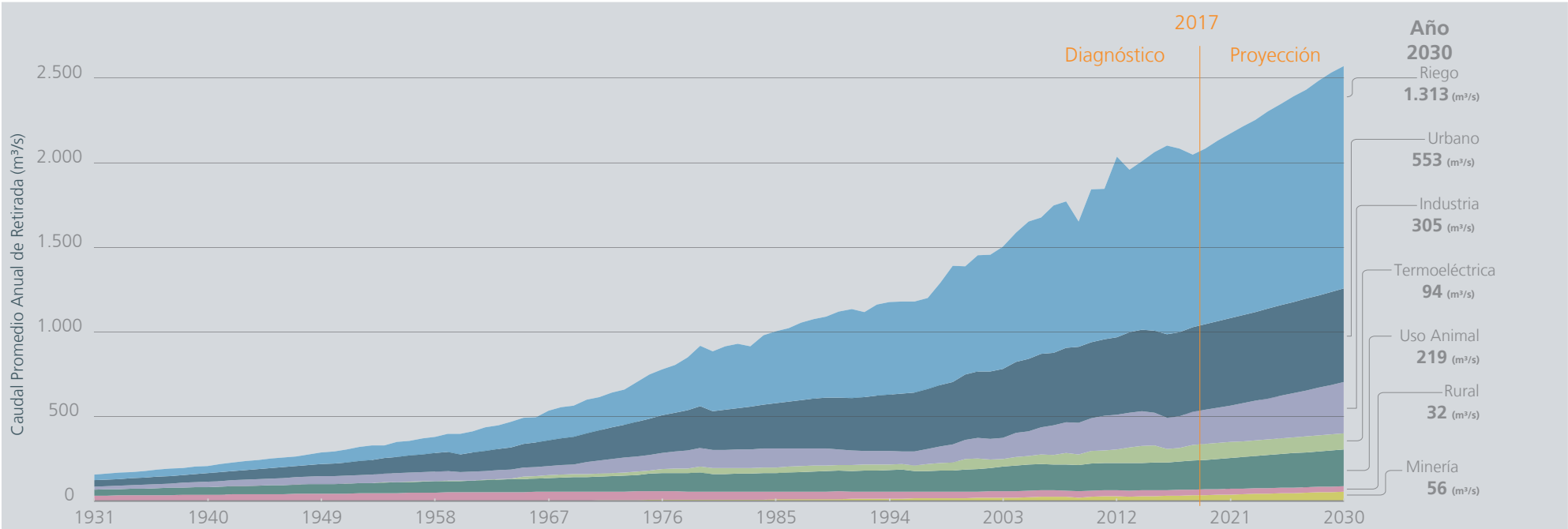
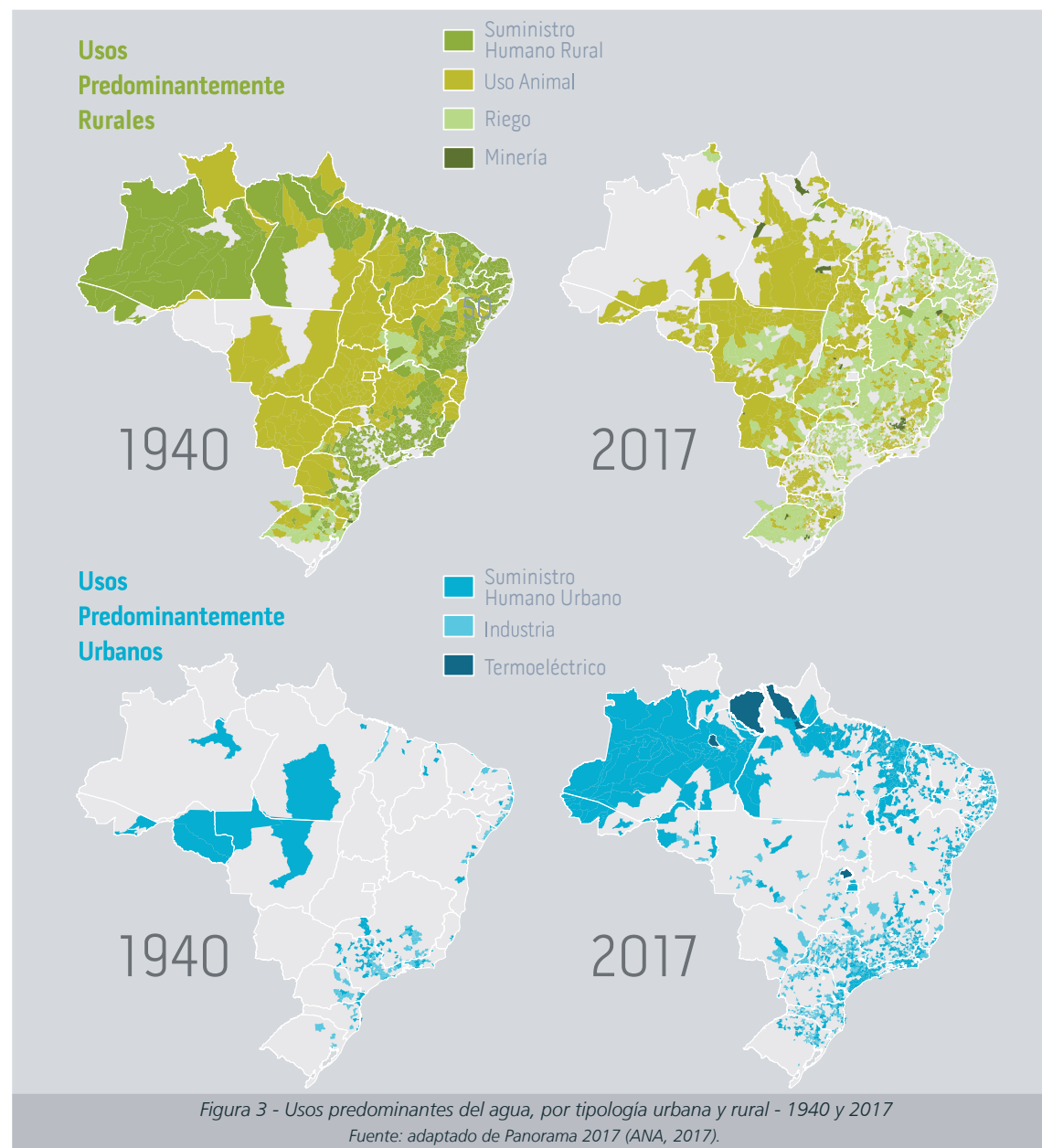


Figura 2 - Evolución de la retirada de agua en Brasil (1931-2030)



agua. En el Centro-Oeste, el predominio del uso para la agricultura de riego es aún más reciente, a mediados de la década de 2000, superando el uso para el suministro de animales. Para el Sureste, se proyecta que la irrigación superará las extracciones de suministro urbano para 2020, dejando al Norte como la única región donde este uso no será predominante.

La Figura 4 presenta una síntesis de las demandas totales de uso de agua (retiradas) por Región Hidrográfica, destacando también la proporción entre los diversos sectores. La Figura 5 presenta una síntesis de los resultados en Brasil



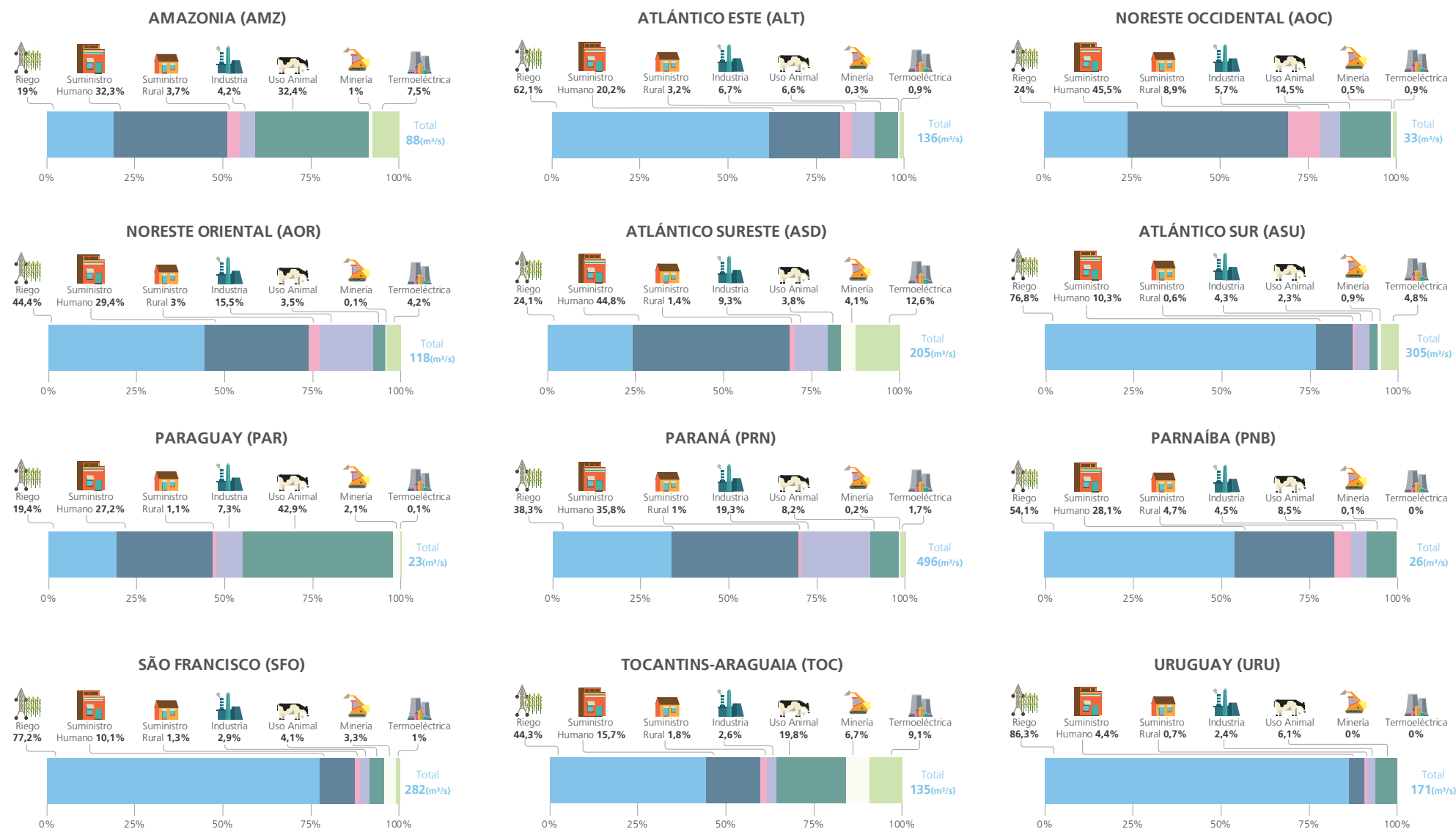
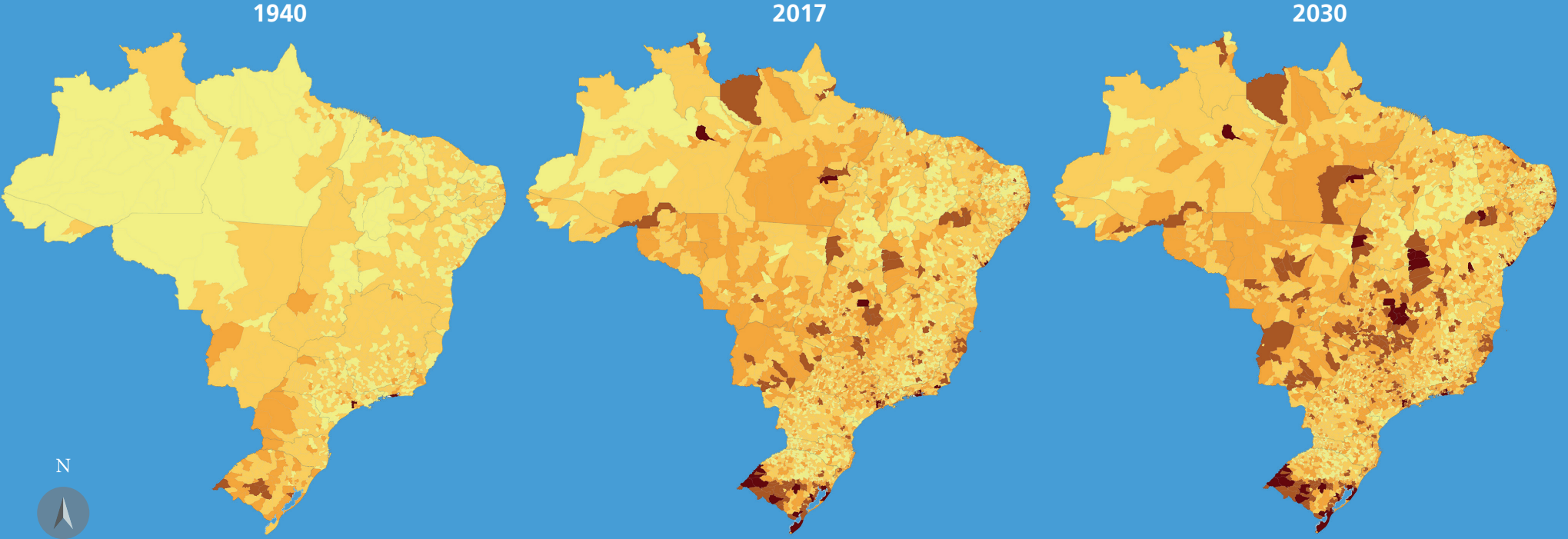
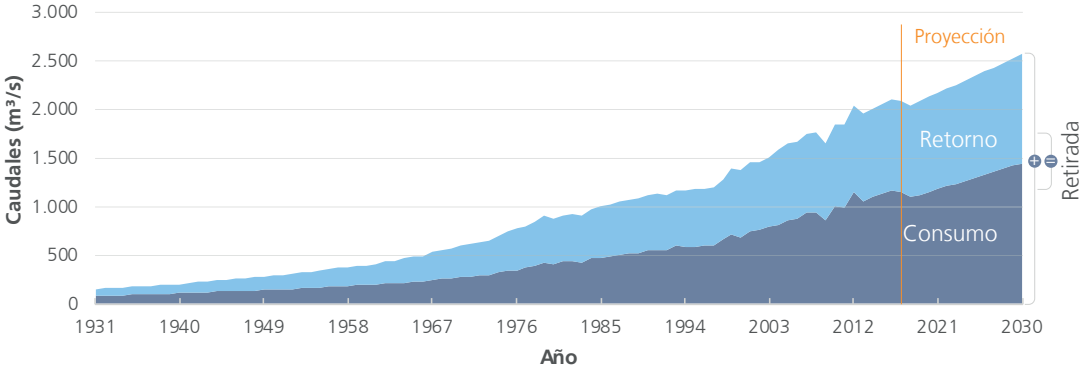


Figura 4 - Demandas de uso del agua en las Regiones Hidrográficas - 2017 (continuación)

Figura 5 - Series de Caudales 1931 a 2030 — Resultados de los Usos Consuntivos en Brasil



Caudales de Retirada por Municipio ( $m^3/s$ )



Mayores Caudales Retirados ( $m^3/s$ ) por Municipio (2017) - Usos Consuntivos en Brasil

Ranking	UF	Municipio	Caudal Retirado ( $m^3/s$ )	Uso Predominante
1º	SP	São Paulo	46,026	Suministro Humano Urbano
2º	RJ	Rio de Janeiro	45,283	Suministro Humano Urbano
3º	RS	Urugaiana	24,405	Riego
4º	RS	Santa Vitória do Palmar	24,376	Riego
5º	RS	Alegrete	22,030	Riego
6º	RS	Itaqui	20,874	Riego
7º	BA	Juazeiro	18,261	Riego
8º	RS	São Borja	16,771	Riego
9º	PE	Petrolina	16,009	Riego
10º	RS	Mostardas	15,794	Riego

Se observa, entre los diez municipios brasileños con mayor retirada de agua, la atención a la demanda de las mayores capitales del país (Río de Janeiro y São Paulo), con el uso predominante del suministro humano urbano. Los demás municipios tienen como uso predominante el riego, siendo áreas de uso intensivo para la producción de arroz bajo inundación (municipios de Río Grande do Sul) o para la producción de frutas y caña de azúcar en la zona semiárida (Petrolina y Juazeiro).

Los resultados detallados de las series históricas de usos consuntivos de todos los municipios pueden consultarse en [www.snirh.gov.br/usos-da-agua](http://www.snirh.gov.br/usos-da-agua)



## 2 SUMINISTRO HUMANO

Estación de Tratamiento de Agua (ETA) - Santa Bárbara - SP  
Tomás May - Banco de Imágenes/ANA

### 2.1 Introducción

La Ley de Aguas (Ley n.º 9.433/1997) reconoce el suministro humano y la desedentación animal como usos prioritarios del agua en situaciones de escasez. La oferta incluye el uso doméstico o residencial (urbano y rural) y en los sectores comercial y de servicios.

Además de su importancia como el segundo mayor uso del país, el suministro urbano se concentra en el territorio, lo que aumenta la presión sobre los sistemas de producción de agua. Las recientes crisis hídricas en las fuentes de abastecimiento, como las que enfrentan las regiones metropolitanas de São Paulo, Río de Janeiro y Belo Horizonte, así como el Distrito Federal, han ampliado el debate sobre la seguridad hídrica en las áreas de concentración poblacional suministradas por sistemas complejos.

La demanda de oferta rural, por otro lado, ha ido disminuyendo a nivel nacional debido a la retracción de la población en el campo. Sin embargo, sigue representando el suministro de 30 millones de personas, que a menudo se concentran en regiones de baja disponibilidad hídrica.

Idealmente, la contabilidad de los volúmenes retirados y consumidos debería basarse en el inventario y las series históricas medidas; sin embargo, debido a la falta de disponibilidad y coherencia de los datos, se suelen utilizar estimaciones indirectas para la evaluación y proyección de las demandas.

En esta línea, los estudios previamente realizados se han desarrollado, en general, a partir de métodos similares entre ellos mismos, variando en función de la disponibilidad de datos. La mayoría de los métodos utilizan, sobre todo, el contingente poblacional y los coeficientes de uso per cápita (litros por habitante por día) como variable explicativa de las estimaciones.

Una importante fuente anual de datos, el Sistema Nacional de Informaciones sobre Saneamiento (SNIS) fue implementado en 1995. Es un sistema de recogida, tratamiento, consolidación y disponibilidad de información sobre los sistemas operativos de agua, alcantarillado y aguas pluviales. El SNIS ha ido evolucionando su alcance y actualmente cubre cerca del 90% de los municipios brasileños y el 95% de la población urbana con información sobre el agua, acercándose al carácter censitario.

Este capítulo presenta el método y las variables explicativas utilizadas para generar series de demanda de agua para el suministro humano urbano y rural (1931-2030). Teniendo en cuenta el marco metodológico de los estudios ya desarrollados en Brasil y en el mundo, la guía presentada para este estudio se basó en el uso de coeficientes técnicos municipales, producidos a partir de datos inventariados en el SNIS, además de las estimaciones oficiales de población del Instituto Brasileño de Geografía y Estadística - IBGE.

Se considera que el consecuente avance metodológico del uso de estas bases proporciona una nueva referencia técnica sobre las demandas de suministro humano de las ciudades

brasileñas, reflejando con mayor precisión la situación actual y las perspectivas de crecimiento.

Como grandes números del uso del agua para el suministro humano, se estima que en 2017 se retiraron 496,2 m<sup>3</sup>/s para el suministro urbano y 34,5 m<sup>3</sup>/s para el uso rural. Estos valores representan el 23,8% y el 1,7% del uso consuntivo total del país, sin considerar la evaporación líquida de los embalses artificiales.

Las Figuras 6 y 7 ilustran la variación de los caudales de retirada para fines de abastecimiento urbano y rural en las unidades federales. Sobresale el estado de São Paulo, con caudales de retirada del orden de 135 m<sup>3</sup>/s para el suministro urbano, lo que corresponde a casi cuatro veces la retirada de agua para el suministro rural en todo el país.

Como referencia para las variaciones en las regiones brasileñas, la Figura 8 presenta los porcentajes de éstas en relación con la retirada total, reflejando la distribución de la población y los estándares de uso. Destaca la concentración de la población rural en el Noreste, con una fuerte participación de esta última en zonas de continua escasez de agua en la región del Semiárido.

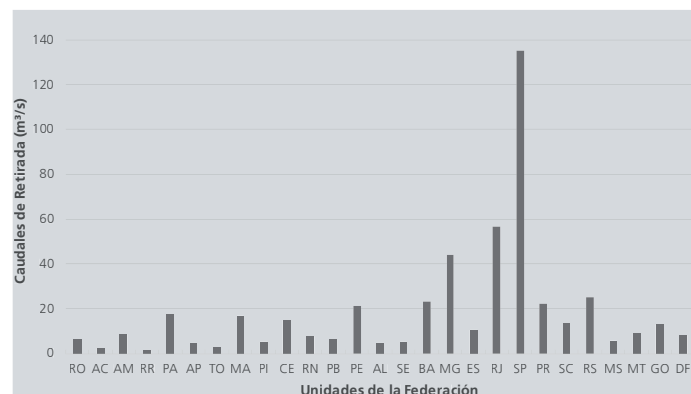


Figura 6 - Caudales de Retirada (m<sup>3</sup>/s) para el Suministro Humano Urbano en las UF's

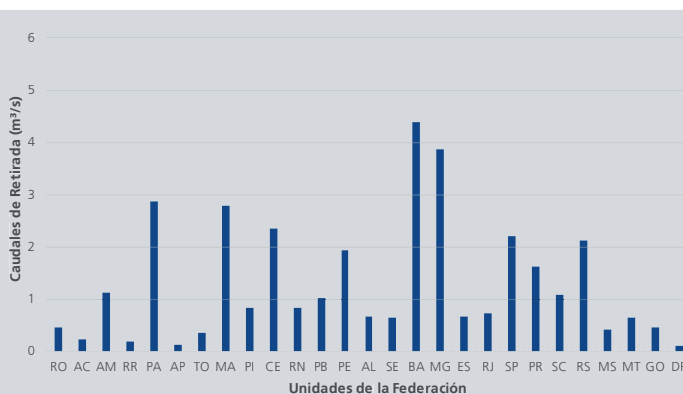


Figura 7 - Caudales de Retirada (m<sup>3</sup>/s) para el Suministro Humano Rural en las UF's

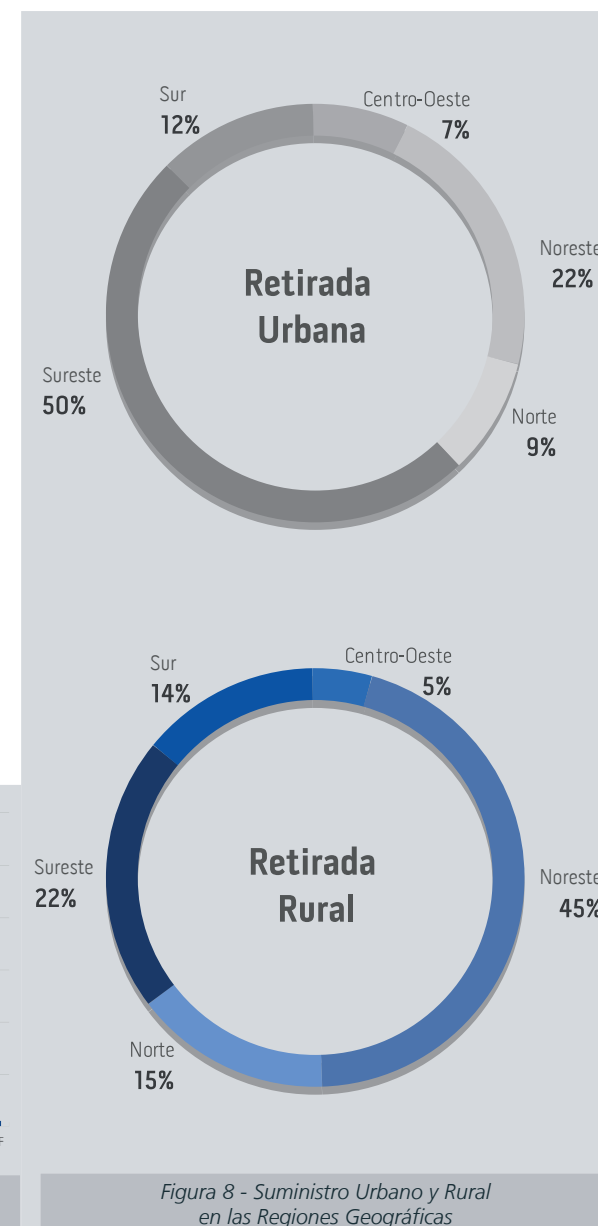
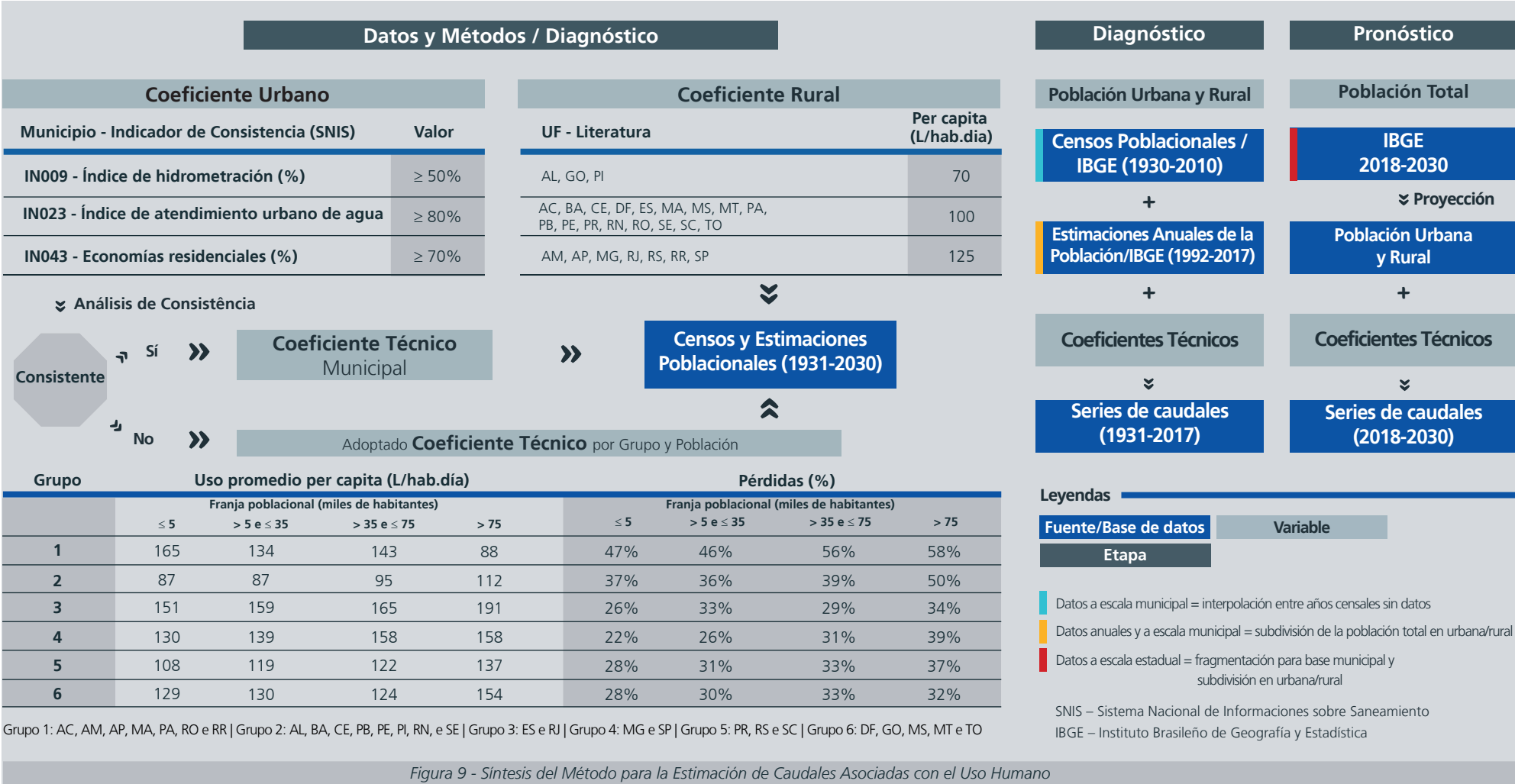


Figura 8 - Suministro Urbano y Rural en las Regiones Geográficas

2.2 Método y Base de Datos

El diagrama de flujo (Figura 9) presenta una síntesis del método para estimar los caudales asociados con el uso humano urbano y rural.





El método de estimación del abastecimiento urbano y rural se basa en la aplicación de **coeficientes técnicos** a los recuentos y **estimaciones de población**. Este estudio presenta una nueva base de coeficientes urbanos, explorando con más detalle las bases de datos del SNIS. En cuanto a los datos de población, la información facilitada por el IBGE se aplicó en su totalidad, además de completar y estimar en años sin información o sin distinguir entre población urbana y rural.

El uso de información desagregada del SNIS para la definición de los coeficientes per cápita urbanos aumenta su aplicabilidad y fiabilidad para las estimaciones del uso del agua.

El SNIS ofrece anualmente información general sobre agua y alcantarillado, así como indicadores operativos (Brasil, 2018). La información general se refiere a los valores brutos obtenidos en la operación de los proveedores. Denominados con el prefijo "AG" para la información relativa a operaciones de agua, estos valores se utilizan en combinación para obtener indicadores operacionales ("IN"). La Tabla 1 presenta información e indicadores, con sus respectivas descripciones, utilizados para generar o analizar la consistencia de los coeficientes de uso de las aguas municipales. La Figura 10 detalla los criterios para analizar la consistencia y obtener los coeficientes urbanos.

A diferencia de otros usos, en el suministro humano urbano los valores de retirada se estiman con base en otros dos indicadores: el **uso per cápita** (agua que potencialmente llega a los usuarios) y las **pérdidas** en las redes de distribución (agua perdida entre la retirada y el usuario final). El uso corresponde a los volúmenes distribuidos que se ponen efectivamente a disposición de los habitantes (volúmenes de hidrómetro en los hogares + volúmenes estimados para los habitantes sin medición). La pérdida corresponde a una parte del volumen de retirada que no es convertido en uso, potencialmente resul-

tante de fallos y fugas en la red de distribución (pérdida física), pero que también puede incorporar parcelas de pérdida aparente (agua utilizada, pero no contabilizada por fallos de medición o conexiones clandestinas).

Para obtener los indicadores municipales de uso y pérdidas, la primera verificación de los datos del SNIS tiene como objetivo asegurar la representatividad de la muestra: La hidrometría (IN009) debe ser superior al 50%, asegurando que los datos reportados por el proveedor tengan una mayor participación en la medición que la estimada; el servicio de agua urbano (IN023) debe cubrir más del 80% de la población del municipio, asegurando una buena representatividad del coeficiente; y la participación de las economías residenciales (IN043) debe ser superior al 70%, reduciendo la influencia de los sectores comercial y de servicios y de algunas industrias más pequeñas que pueden tener un impacto más significativo en los valores municipales.

Para los municipios que cumplen con los criterios, se calculan los valores de uso y pérdida per cápita (Ecuaciones 1 y 2), verificando si los valores son consistentes con los límites mínimo y máximo establecidos (Figura 10).

Para los municipios que no cumplieron con los criterios anteriores, se evalúa la utilización del IN022 como indicador del uso per cápita (consumo medio de agua per cápita, calculado por el SNIS).

Después de estas etapas de análisis, se concluyó que para el 85% de los municipios brasileños, que cubren alrededor del 95% de la población urbana, los indicadores se obtuvieron del propio municipio, sin necesidad de adoptar coeficientes teóricos o medios (del Estado o del proveedor).

Para completar los datos de uso y/o pérdida promedio per cápita de los municipios que no reportaron datos al SNIS o que no cumplieron con los criterios de consistencia, se preparó una tabla de referencia basada en los

municipios con datos. Esta matriz agrupa los indicadores por grupo de población y grupos de UF con características similares de uso y pérdida (Figura 9). Sin embargo, esto sólo fue necesario en el 15% de los municipios que corresponden al 5% de la población urbana atendida.

Cabe señalar que los coeficientes obtenidos son representativos de las poblaciones atendidas por la red pública de distribución de agua. Sin embargo, para estimar la demanda, se consideró la población urbana total, asumiendo que la demanda y las pérdidas per cápita de las poblaciones no atendidas por la red son iguales a las de la población atendida. Además, se registra que el 93% de la población urbana brasileña ya estaba atendida por la red en 2016 (Brasil, 2018).

En cuanto a los **coeficientes de consumo y de retorno**, en esta publicación el retorno corresponde al 80% de la retirada, en base a la recomendación de la NBR 9649 de la ABNT. Así pues, el consumo corresponde al 20% de la retirada.

Por otro lado, cabe destacar que la desagregación de los coeficientes municipales de uso y pérdidas permite que, para diferentes aplicaciones, se adopten porcentajes diferenciados de **consumo/retorno**. En la generación de efluentes, por ejemplo, las pérdidas en la red de distribución no tienen un impacto significativo en la calidad del agua y el consumo puede calcularse sólo en el agua que llega a los usuarios y, por tanto, se convierte parcialmente en efluente.

Con los indicadores de uso y pérdida per cápita calculados (Ecuaciones 1 y 2) o completados para todos los municipios, los coeficientes de retirada, consumo y retorno per cápita se calculan de acuerdo con las Ecuaciones 3 a 5.

Tabla 1 - Informaciones e indicadores puestos a disposición por el SNIS, relevantes para la estimación de los coeficientes per cápita

Item	Nombre	Descripción
<b>AG001</b>	Población total servida con suministro de agua (Habitantes)	Valor de la población total servida con suministro de agua por el proveedor del servicio el último día del año de referencia. Corresponde a la población urbana a la que se atiende efectivamente con los servicios, más otras poblaciones atendidas ubicadas en áreas no urbanas. Estas poblaciones pueden ser rurales o incluso con características urbanas, a pesar de estar ubicadas en áreas consideradas rurales por el IBGE. Si el prestador del servicio no dispone de procedimientos propios para definir con precisión esta población, puede estimarla utilizando el producto de la cantidad de economías residenciales activas del agua, multiplicada por la tasa media de habitantes por hogar del municipio respectivo.
<b>AG002</b>	Número de tomas de agua activas (Conexiones)	Número de tomas activas de agua a la red pública, con o sin hidrómetro, que estaban en pleno funcionamiento el último día del año de referencia.
<b>AG003</b>	Cantidad de economías de agua activos (Economía)	Número de economías activas de agua, que estaban plenamente operativos el último día del año de referencia.
<b>AG004</b>	Número de tomas micromedidas de agua activas (Conexiones)	Número de tomas de agua activas, equipadas con un hidrómetro, que estaban en pleno funcionamiento el último día del año de referencia.
<b>AG006</b>	Volumen de agua producido (1.000 m³/año)	Volumen anual de agua disponible para el consumo, medido o estimado en la(s) producción(es) de la(s) ETA (s) o UTS(s). También incluye el volumen de agua captada por el proveedor del servicio o el agua bruta importada (AG016) que se pone a disposición para su consumo sin tratamiento, medido en los respectivos insumos del sistema de distribución. Parte de este volumen puede ser exportado a otros municipios atendidos o no por el mismo proveedor de servicios.
<b>AG008</b>	Volumen de agua micromedido (1.000 m³/año)	Volumen anual de agua medido por hidrómetros instalados en las conexiones de agua activa. No debe confundirse con el volumen de agua consumida, identificado por el código AG010, ya que este último incluye, además de los volúmenes medidos, también los estimados para los usuarios de conexiones no medidas.
<b>AG010</b>	Volumen de agua consumido (1.000 m³/año)	Volumen anual de agua consumida por todos los usuarios, incluyendo el volumen micromedido (AG008), el volumen estimado de consumo para conexiones sin o con hidrómetros parados, más el volumen de agua tratada exportada (AG019) a otro proveedor de servicios.
<b>AG013</b>	Número de economías de agua residenciales activas (Economías)	Número de economías activas de agua en viviendas que estaban plenamente operativas el último día del año de referencia.
<b>AG014</b>	Cantidad de economías activas de agua micromedidas (Economías)	Número de economías activas de agua, cuyas respectivas conexiones están provistas de un hidrómetro, que estaban en pleno funcionamiento el último día del año de referencia.
<b>AG018</b>	Volumen importado de agua tratada (1.000 m³/año)	Volumen anual de agua potable, previamente tratada en ETA(s) o UTS(s), recibida de otros agentes proveedores. No debe calcularse en los volúmenes de agua producidos (AG006).
<b>AG019</b>	Volumen de agua micromedido (1.000 m³/año)	Volumen anual de agua potable, previamente tratada en ETA(s) o UTS(s), transferida a otros agentes de distribución. Debe calcularse en los volúmenes de agua consumida (AG010).
<b>IN009</b>	Índice de hidrometría (%)	$(AG004 / AG002) \times 100$
<b>IN022</b>	Consumo promedio de agua per cápita (L/Hab.día)	$((AG010 - AG019) / AG001) \times 106 / 365$
<b>IN023</b>	Índice de servicio de agua urbana (%)	$(Población Urbana Atendida (GA026) / Población Urbana Total) \times 100$
<b>IN043</b>	Participación de las economías de agua en los hogares en el ahorro total de agua (%)	$(AG013 / AG003) \times 100$

Fuente: BRASIL (2018)



**Ecuación 1**

$$\text{Uso}_{\text{per capita}} = \{AG_{008} \cdot [AG_{014} \cdot (AG_{001} \div AG_{013})]\} \cdot 10^6 \div 365$$

**Ecuación 2**

$$\text{Pérdida}_{\text{media}} = [(AG_{006} + AG_{018}) - AG_{010}] / (AG_{006} + AG_{018} - AG_{019})$$

**Ecuación 3**

$$\text{Retirada}_{\text{per capita}} = \text{USO}_{\text{per capita}} \cdot (1 - \text{Pérdida}_{\text{media}})^{-1}$$

**En que:**

- $\text{Uso}_{\text{per capita}}$  = coeficiente que define el uso promedio per capita en L/Hab.día
- $\text{Pérdida}_{\text{media}}$  = proporción que representa la porción captada que no es utilizada, en porcentaje
- $\text{Retirada}_{\text{per capita}}$  = coeficiente de retirada promedio per capita, en L/Hab.día

**Ecuación 4**

$$\text{Consumo}_{\text{per capita}} = \text{Uso}_{\text{per capita}} \cdot (1 - C) + (\text{Retirada}_{\text{per capita}} - \text{Uso}_{\text{per capita}}) \cdot (1 - C)$$

**En que:**

- $\text{Consumo}_{\text{per capita}}$  = consumo medio per capita, en L/hab.día
- $\text{Uso}_{\text{per capita}}$  = uso medio per capita, en L/hab.día
- $\text{Retirada}_{\text{per capita}}$  = retirada media per capita, en L/Hab.día
- $C$  = coeficiente de retorno (adoptado  $C = 0,8$  para cuadales asociados a las poblaciones urbanas y rurales)

**Ecuación 5**

$$\text{Retorno}_{\text{per capita}} = (\text{Retirada}_{\text{per capita}} - \text{Uso}_{\text{per capita}}) \cdot C + (\text{Uso}_{\text{per capita}} \cdot C)$$

**En que:**

- $\text{Retorno}_{\text{per capita}}$  = retorno per capita, en L/hab.día

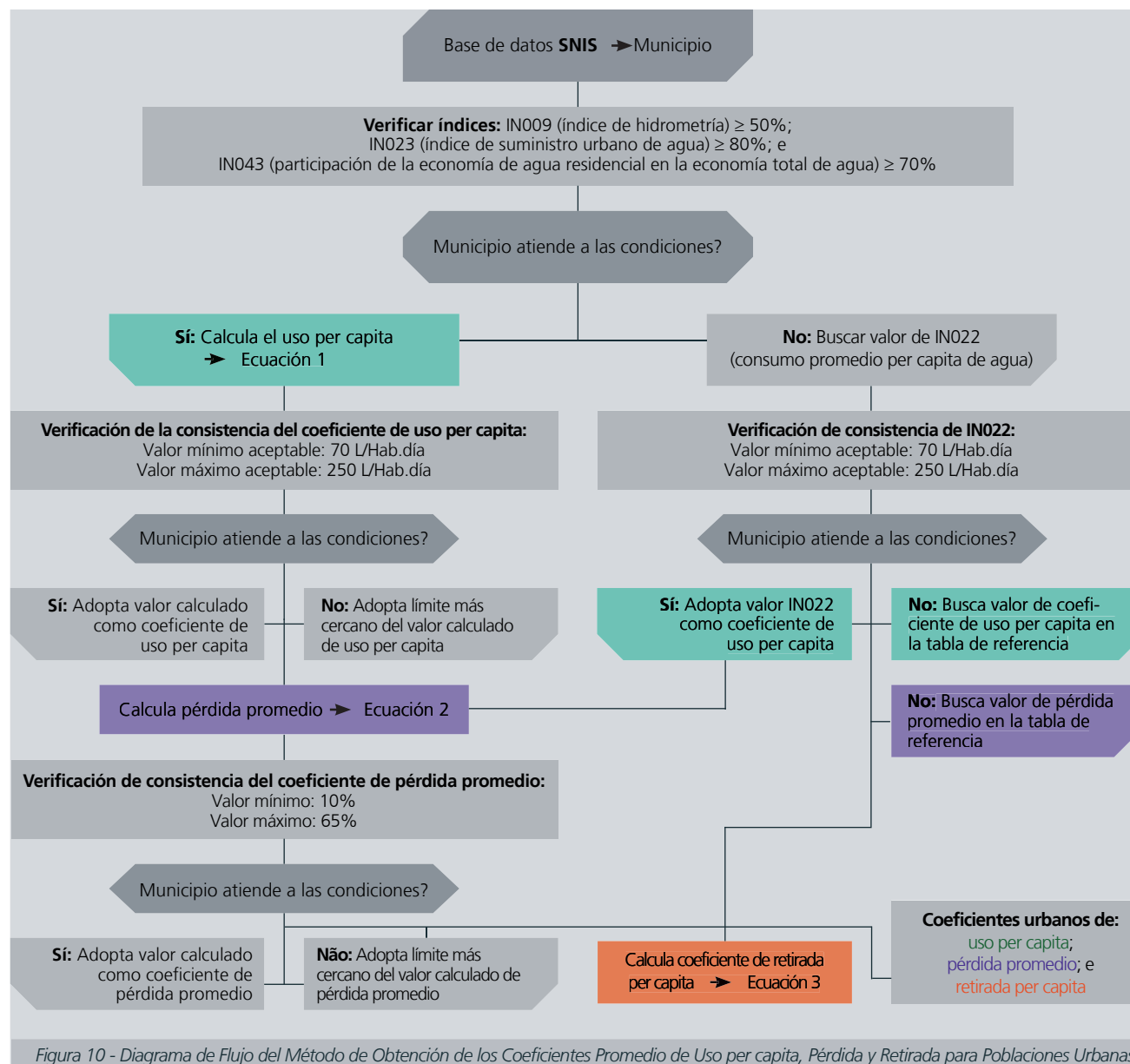


Figura 10 - Diagrama de Flujo del Método de Obtención de los Coeficientes Promedio de Uso per capita, Pérdida y Retirada para Poblaciones Urbanas

En cuanto a la población rural, se optó por la estimación con coeficientes de retirada adoptados en estudios anteriores (ONS, 2003; 2005), que varían de 75 a 125 litros por habitante y día, según la UF (Figura 9). El consumo también se estimó en el 20% de la retirada (80% de retorno).

Debido a la falta de datos a escala nacional y a la incertidumbre de los modelos de regresión relacionados con el uso del agua por las poblaciones, los valores per cápita obtenidos para el diagnóstico se utilizaron en escenarios pasados y futuros. Aunque se espera un aumento del uso del agua per cápita con la modernización y el aumento de los ingresos, por ejemplo, otros factores intervienen en el proceso, como el propio aumento de la eficiencia (disminución de las pérdidas), la escasez hídrica, el impacto de las políticas públicas y los cambios en los hábitos de consumo.

En cuanto a la cuantificación de las poblaciones municipales consideradas en el cálculo de la demanda de suministro humano, la información para el período analizado proviene de las encuestas censales, conteos y estimaciones de población divulgadas por el IBGE, principalmente a través del Sistema IBGE de Recuperación Automática - SIDRA (<http://sidra.ibge.gov.br>).

Entre 1930 y 1991, la principal fuente de datos corresponde a los Censos Demográficos decenales. Las poblaciones municipales urbanas y rurales en años sin datos censales fueron interpoladas a partir de los registros disponibles.

A partir de 1992 existen datos anuales: recuentos de población en 1996 y 2007; Censos Demográficos en 2000 y 2010; y estimaciones de población para los demás años. En parte de los datos de conteo y en las estimaciones anuales, el IBGE sólo revela la población total de los municipios, lo que requiere la desagregación en

población urbana y rural. Para ello, se aplicaron las tendencias observadas en el municipio entre los años censales (donde la población se divide en urbana y rural).

En relación con las proyecciones de población futura, se estima que para mediados de 2030 habrá una reducción progresiva de la población total brasileña.

El IBGE pone a disposición estimaciones anuales por unidad de la federación en el horizonte de 2030 (IBGE, 2013). La estimación de la población municipal futura (total, urbana y rural) se realizó con base en el método logístico, cuya función matemática refleja bien el proceso de crecimiento que se está desacelerando a medida que se acerca a un punto de saturación. El método refleja adecuadamente la tendencia predominante de los municipios brasileños a disminuir el crecimiento de la población. Las tendencias municipales observadas entre 2000 y 2010 guiaron la determinación de los parámetros de cálculo.

La población por unidad de la federación estimada por el IBGE en el horizonte 2030 fue utilizada como variable de control para la evaluación y eventual ajuste de la estimación, es decir, la población total de los municipios debe ser cercana a la población oficial estimada por el IBGE en cada UF (asumiendo una variación de hasta +5%).

Para la aplicación del método logístico, en los 63 municipios creados después del año 2000, las poblaciones de estos en 2000 y 2010 se estimaron utilizando las redes de los sectores censales de los municipios de origen.

Se utilizó el modelo logístico para estimar la población total y la urbana, y la población rural se determinó por la diferencia entre ambas.

## 2.3 Resultados

La infografía (Figuras 11 y 12) presenta espacial y gráficamente la síntesis de los resultados obtenidos para el suministro humano urbano y rural (1931-2030), respectivamente. El gráfico asociado presenta las series históricas de los caudales de retirada, consumo y retorno para todo el país. Además, se presentan cuadros con los diez municipios con las mayores extracciones en 2017.

Se observa el impacto de las variaciones demográficas en la demanda hídrica, especialmente con el fuerte crecimiento de la población urbana y la disminución de la población rural a partir de los años 1970. En el período reciente y en proyecciones futuras, se observa la perspectiva de estabilización de la población, cuando la demanda hídrica tenderá a verse más afectada por los cambios en los sistemas de abastecimiento y en los estándares de consumo de las familias do que por el aumento de la población o los flujos migratorios.

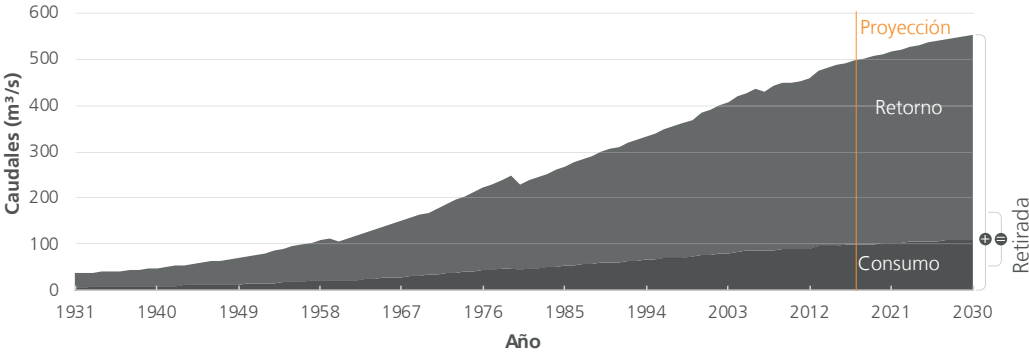
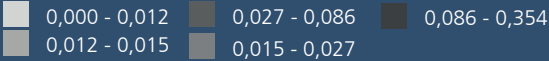
El escenario para 2030 muestra una población total de 226,4 millones de habitantes, 18,75 millones más que en 2017. El crecimiento del 9% en este período está impulsado por el aumento de 21 millones de personas en las ciudades (+11,7%), mientras que la población debería oscilar negativamente en 2,25 millones (-7,9%).

Se puede acceder a resultados más detallados en [www.snirh.gov.br](http://www.snirh.gov.br) y [metadados.ana.gov.br](http://metadados.ana.gov.br)

Figura 11 - Series de Caudales 1931 a 2030 - Suministro Humano Urbano



Caudales de Retirada por Municipio ( $m^3/s$ )



Mayores Caudales Retirados ( $m^3/s$ ) por Municipio (2017) - Humano Urbano

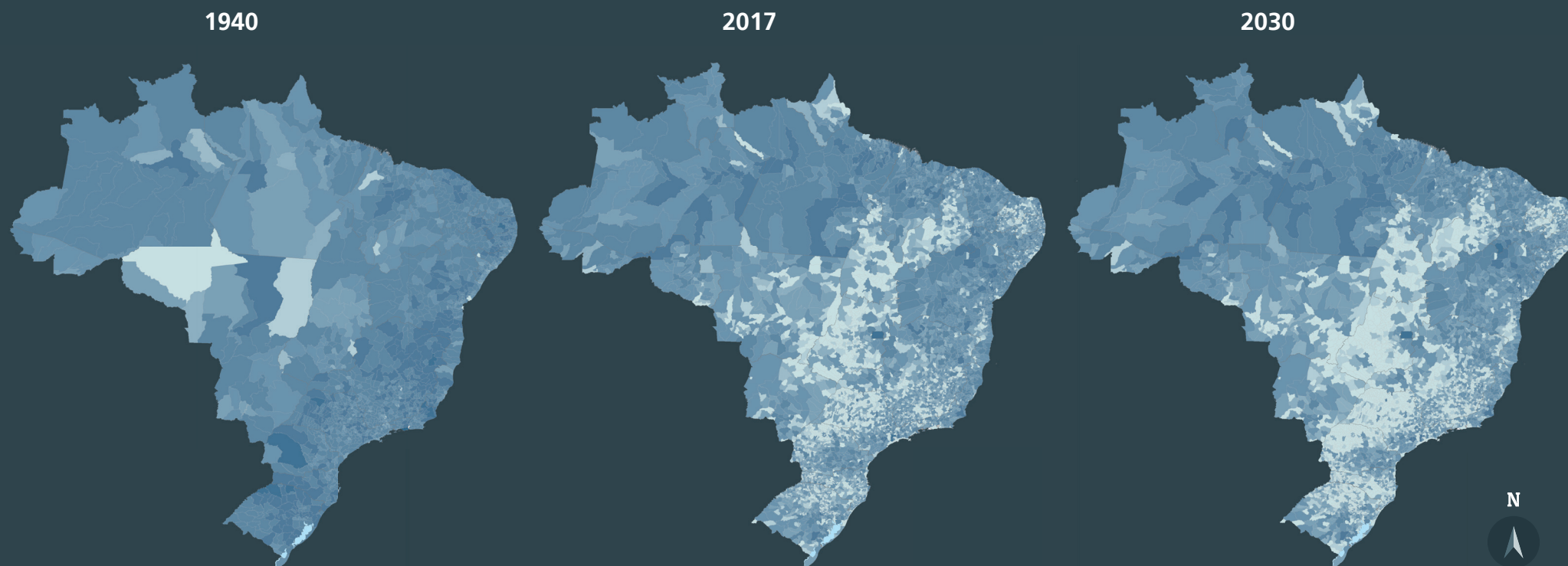
Ranking	UF	Municipio	Caudal Retirada ( $m^3/s$ )
1º	SP	São Paulo	40,254
2º	RJ	Rio de Janeiro	24,049
3º	BA	Salvador	8,357
4º	DF	Brasília	8,157
5º	MG	Belo Horizonte	7,110
6º	CE	Fortaleza	6,890
7º	PE	Recife	5,955
8º	PR	Curitiba	5,369
9º	RS	Porto Alegre	5,007
10º	PA	Belém	4,915

Algunas de nuestras mayores capitales de Estados se destacan en los valores más altos de flujo de retirada para el suministro humano urbano. La clasificación no refleja exactamente la clasificación de la población. Fortaleza, por ejemplo, tiene una población urbana superior a la de Belo Horizonte, pero el menor nivel de consumo refleja una demanda inferior a la de la capital del estado de Minas Gerais. Recife y Curitiba aplican la misma lógica. Belém es otro ejemplo: con la duodécima mayor población urbana, aparece con la décima mayor retirada de agua.

Se puede acceder a los resultados detallados de las series históricas de usos consuntivos en [www.snirh.gov.br/usos-da-agua](http://www.snirh.gov.br/usos-da-agua)



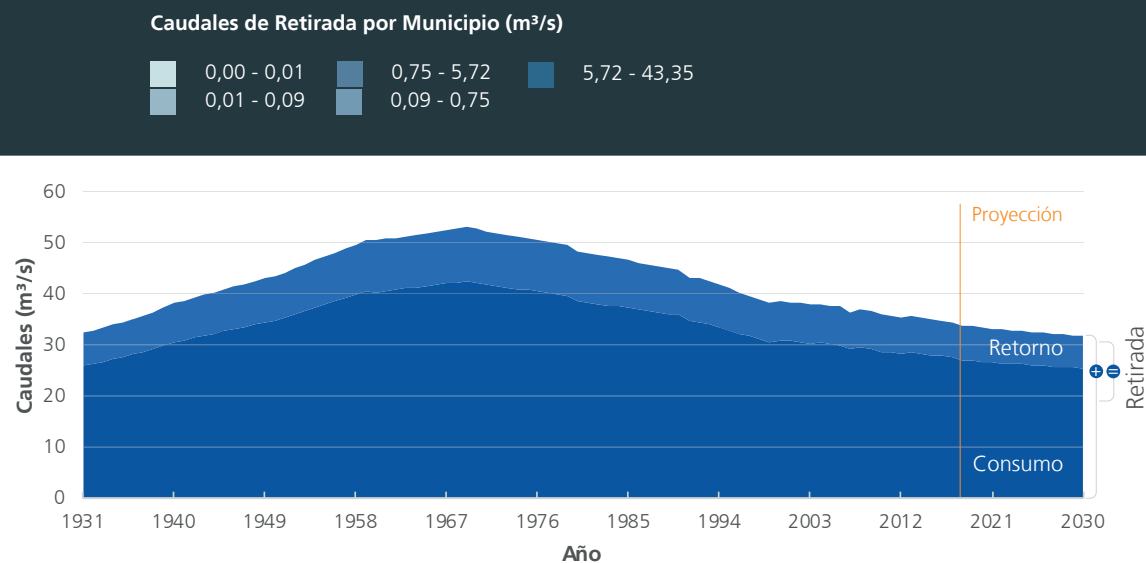
## Figura 12 - Series de Caudales 1931 a 2030 - Suministro Humano Rural



Ranking	UF	Municipio	Caudal Retirada (m³/s)
1°	MA	São José de Ribamar	0,157
2°	PE	Petrolina	0,101
3°	DF	Brasília	0,100
4°	PA	Barcarena	0,089
5°	PA	Santarém	0,085
6°	PA	Cametá	0,084
7°	RJ	Cabo Frio	0,076
8°	PA	Abaetetuba	0,073
9°	SP	Ibiúna	0,070
10°	MA	São Luís	0,070

Es importante destacar los valores del caudal de retirada para el suministro humano rural en municipios con una proporción considerable de población rural, especialmente en el Norte y el Noreste. La tendencia a la baja de la población rural continuará en 2030, aunque algunos municipios muestran un crecimiento debido a la instalación o expansión de la agroindustria, que ya se ha observado en series históricas más recientes.

Los resultados detallados de las series históricas de usos consuntivos de todos los municipios pueden consultarse en [www.snirh.gov.br/usuarios-da-agua](http://www.snirh.gov.br/usuarios-da-agua).





### 3.1 Introducción

Los mayores usos consuntivos del agua, a escala mundial, son la agricultura y la ganadería. En Brasil, que tiene algunos de los rebaños más grandes del mundo, la demanda de agua en las estructuras de desedentación, crianza y medio ambiente de los animales es alta.

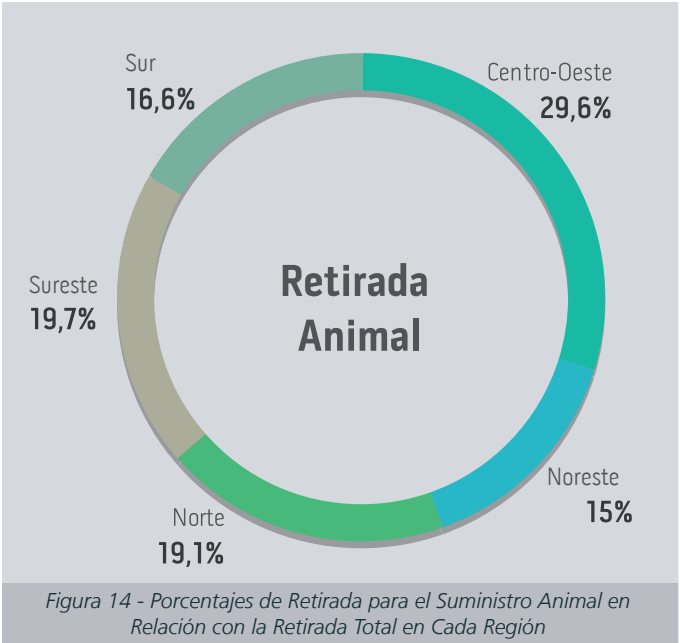
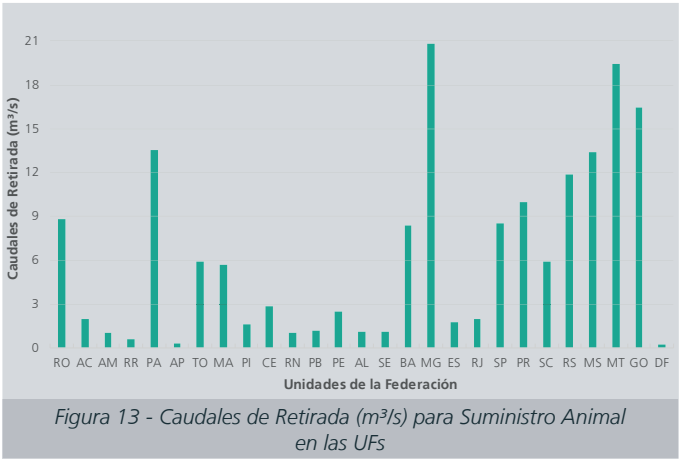
El consumo diario de agua varía significativamente dependiendo de la especie animal, ya que la mayor parte está relacionada con las demandas fisiológicas de los animales. El tamaño y la etapa de desarrollo son factores determinantes en la demanda de agua per cápita, y también están influenciados por las condiciones ambientales y de gestión (Ward & McKague, 2007).

Las metodologías aplicadas en todo el mundo en los estudios de este propósito utilizan, de forma simplificada, la información del recuento de rebaños y los coeficientes técnicos per cápita para estimar la demanda hídrica. El nivel de detalle de los coeficientes depende de la disponibilidad de información sobre los rebaños, como las especies, la tipología, el tamaño, la etapa de desarrollo y el uso de confinamiento.

Además de las necesidades específicas de los animales (desedentación), discretizadas por tipo de rebaño, las demandas actuales de suministro animal consideran el uso del agua de forma más amplia, como por ejemplo para las operaciones lecheras, la limpieza de los animales y las instalaciones y otras necesidades de mantenimiento de las estructuras rurales.

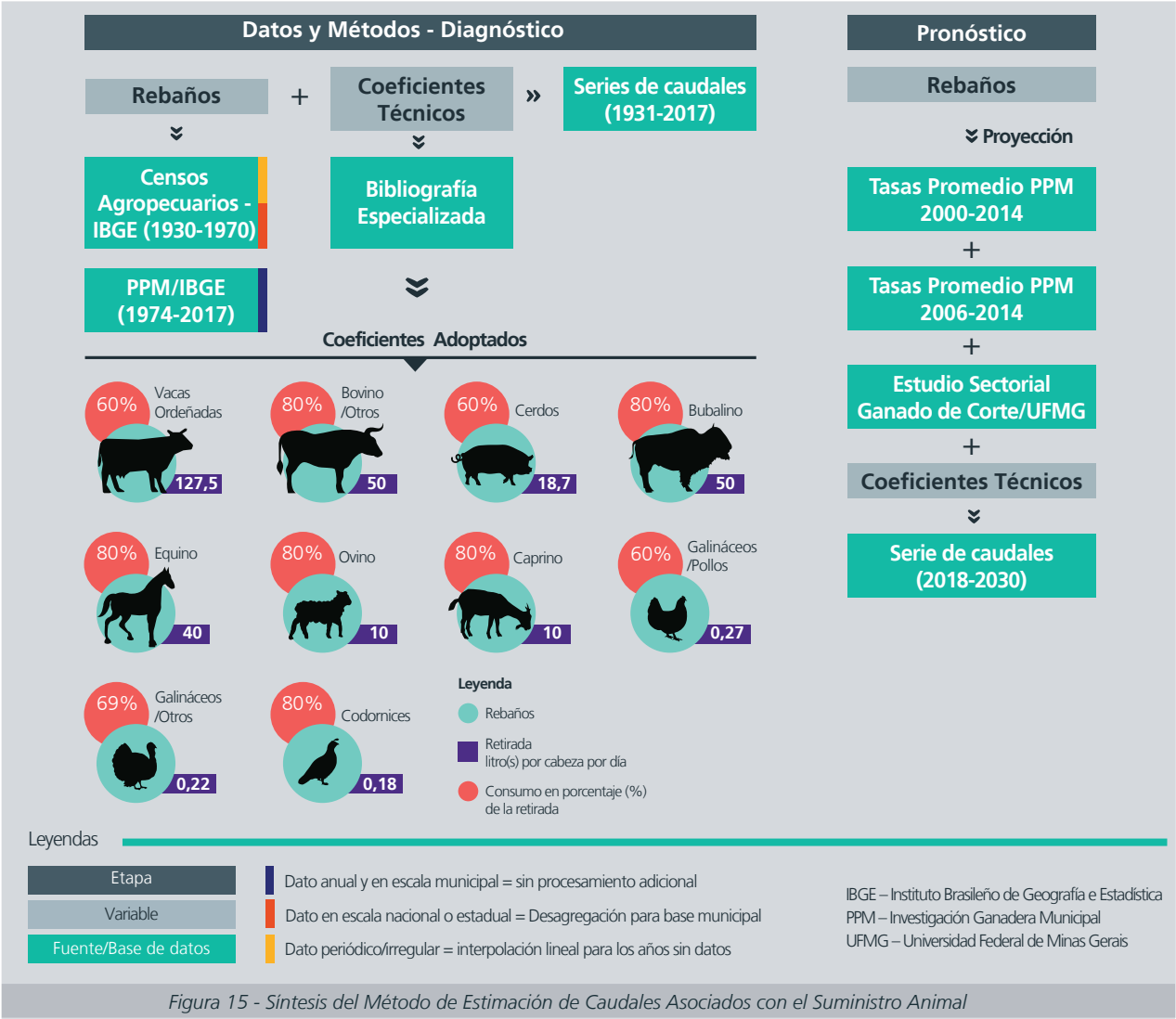
La Figura 13 ilustra la variación actual de los Caudales de retirada en las unidades de la federación. Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará y Rio Grande do Sul se destacan con mayores caudales de retirada, reflejo principalmente de la concentración de rebaños ganaderos. La demanda de retirada actual es de 166,8 m<sup>3</sup>/s (8% del total). Como referencia de las variaciones en las regiones brasileñas, la Figura 14 presenta los porcentajes de éstas en relación con la retirada total.

## 3 SUMINISTRO ANIMAL



3.2 Método y Base de Datos

El diagrama de flujo (Figura 15) presenta una síntesis del método y las bases de datos para estimar los caudales asociados con el suministro animal.





El método adoptado es similar al de los estudios de referencia nacionales e internacionales. Consiste en aplicar **coeficientes técnicos** per cápita (litros diarios por cabeza), por **tipo de rebaño**, al **número de cabezas** registradas o estimadas en el año de referencia. La conceptualización de los rebaños (IBGE, 2013; 2017) se presenta en la Tabla 2.

Dos refinamientos importantes relacionados con el método y las bases de datos diferencian este estudio de los enfoques anteriores.

El primero consiste en una nueva revisión de los **coeficientes técnicos** en la literatura disponible, siendo analizados 12 estudios de referencia nacionales e internacionales. La Tabla 2 contiene los valores mínimos y máximos observados, así como los valores adoptados. No hubo un criterio específico para elegir el coeficiente, y el análisis en cada caso consideró la profundidad, representatividad y fuentes de datos utilizadas por los autores, así como la adherencia de los coeficientes a los datos de rebaños proporcionados por el IBGE. En las Tablas 3 y 4 se detallan las principales fuentes de coeficientes de desedentación relacionados con los rebaños bovinos (vacas ordeñadas y otros) y avícolas (pollos y otros), que presentan una mayor diversidad de valores.

La definición de los coeficientes por tipo de rebaño no sólo permite la plena utilización de los datos recogidos por el IBGE, sino que también permite el análisis sectorial de la situación y el pronóstico del uso del agua por parte de los diferentes rebaños y su asociación con la cadena agroindustrial (industria de transformación).

Además de los valores detallados y más actualizados para la desedentación animal (necesidades fisiológicas de los animales) (Tabla 2), se incorporaron valores para otras necesidades de la cría de animales (como el lavado, la limpieza y el mantenimiento de las instalaciones y estructuras).

Tabla 2 - Rebaños: conceptualización y coeficientes técnicos (mínimo, máximo y adoptado)						
Especie	Conceptualización	Coeficiente Mínimo	Coeficiente Máximo	Coeficiente Adoptado	Consumo (%)	Fuente(s) Adoptada(s)
(litro(s) por cabeza por día)						
Bovino	Mamíferos totales de las especies Bos indicus (buey indio) o Bos taurus (buey europeo), independientemente de su sexo, edad, raza o destino (corte, leche o trabajo).	20,0	80,00	50,0	80	ANA (2013)
Vacas Ordeñadas	Vacas de raza o raza mixta (para corte, ordeñadas o de doble propósito) del municipio y que hayan sido ordeñadas durante algún periodo del año de referencia de la investigación, ya sea para autoconsumo, transformación en queso, mantequilla, etc., o para la venta.	20,0	150,0	85,0 (127,5)	60	ANA (2013) SUDERHSA (2006)
Cerdos	Total de mamíferos de la especie Sus scrofa (cerdos y cerdas), independientemente del sexo, edad o destino de la producción.	5,0	30,00	12,5 (18,7)	60	ONS (2003; 2005) SUDERHSA (2006)
Bubalino	Total de mamíferos de la especie Bubalus bubalis, independientemente de su sexo, edad o destino (para corte o leche).	30,0	90,00	50,0	80	ONS (2003; 2005)
Equino	Total de mamíferos de la especie Equus caballus (caballos, yeguas, potros y potras).	20,0	60,00	40,0	80	ANA (2013) / SUDENE (1980)
Ovino	Total de mamíferos de la especie Ovis aries (ovejas, cameros y corderos), independientemente del sexo, la edad o el sexo. (lana, corte o leche).	5,0	30,00	10,0	80	ONS (2003; 2005)
Caprino	Total de mamíferos de la especie Capra aegagrus hircus (chivos, cabras y cabritos), independientemente de su sexo, edad o destino (para corte o leche).	4,0	30,00	10,0	80	ONS (2003; 2005)
Galináceos	Número total de aves de la especie Gallus gallus (gallos, gallinas, pollas, pollos y pollitos).	0,10	0,50	0,18 (0,22)	69	EMBRAPA (2005) SUDERHSA (2006)
Galináceos - pollos	Número total de aves hembras de Gallus gallus destinadas a la producción de huevos, independientemente del destino de la producción (consumo, industrialización o incubación). Incluye ponedoras y matrices.	0,10	0,32	0,18 (0,27)	60	EMBRAPA (2005) SUDERHSA (2006)
Codornices	Número total de aves de la especie Coturnix coturnix destinadas a la producción de huevos y carne, independientemente de su sexo o edad.	-	-	0,18	80	EMBRAPA (2005)

\*El coeficiente técnico presentado entre paréntesis considera la adopción de un porcentaje destinado a otras necesidades de la ganadería.

Estos valores se consideraron en rebaños en los que este uso adicional de agua es más relevante, como el confinamiento o semiconfinamiento de galináceos, suinos y vacas ordeñadas. Basado en SUDERHSA (2006), actual

Instituto del Agua de Paraná, se definió sobre el valor de la retirada por desedentación adicional del 50% para cerdos, vacas ordeñadas y pollos; y del 20% para otros galináceos.

El segundo refinamiento importante en el método de estimación del suministro animal se refiere a la ampliación de las bases de datos sobre **rebaños**, utilizando no sólo los datos del censo (quinquenal o decenal) sino también los datos anuales de la Encuesta Municipal de Ganadería (anual), incluida la desagregación del rebaño bovino en vacas ordeñadas y otros.

La Tabla 5 presenta una síntesis de las bases utilizadas y su referencia temporal y espacial. Antes de 1974, año en que la disponibilidad de los registros pasa a ser anual y municipal, los rebaños en años sin datos se estimaban por interpolación lineal. También fue necesario desagregar la base municipal debido a la revelación de estos valores sólo para el país o por UF.

La desagregación de los datos a escala municipal (anterior a 1973) se realizó considerando las mismas proporciones que en 1974, por tipo de rebaño, teniendo en cuenta también la evolución de la red territorial a lo largo de los años (desmembramiento o agrupación de municipios).

Aún para el período anterior a 1974, se creó una serie sintética de datos de vacas lecheras, considerando la proporción promedio de esta especie en el número total de bovinos en el país (12%), un avance en relación con el detalle de los estudios previos, cuya importancia es visible en la Figura 16. Las vacas lecheras representan alrededor del 12% del ganado, pero representan más del 25% de la demanda.

Tabla 3 - Comparación de los valores de los coeficientes técnicos de los bovinos									
Especie	EMBRAPA (2005)	NIEA (2009)	DWAF (1996)	OMAFRA (2009)	UKEA (2007)	USGS (2009)	IMASUL (2010)	SUDERHSA (2006)	ANA (2013)
Ganado bovino	34,3 <sup>1</sup>	20	17 a 41	25 a 41	20	45 <sup>2</sup>	55	45	50 <sup>3</sup>
Vacas en Lactación	62	92	38 a 95	115	92	132 <sup>2</sup>	62	53	85 <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Valor promedio considerándose Ganado Bovino (hasta 250 kg, hasta 410 kg y hasta 566 kg), vacas con becerros, vacas secas y becerros.

<sup>2</sup> Mediana de los valores observados.

<sup>3</sup> Promedio entre valor mínimo y máximo.

Tabla 4 - Comparación de los valores de los coeficientes técnicos para las aves								
Especie	ÁGUAS-PR (2010)	EMBRAPA (2005)	NIEA (2009)	FAO (2006)	USGS (2009)	ONS (2003)	IMASUL (2010)	ANA (2013)
Aves - general	0,16	-	0,19 - 1,22	-	-	0,36	0,32	-
Galináceos - Gallinas	-	0,18	0,20 - 0,22	0,25	0,22	0,36	0,32	0,1 - 0,2
Galináceos - Otros	-	0,16 - 0,321	0,09 - 0,21	0,33	0,22	0,36	0,32	0,15 - 0,50

<sup>1</sup> Considerando los siguientes coeficientes: Pollos (0,16), Ponedoras (0,25) y Reproductoras (0,32).

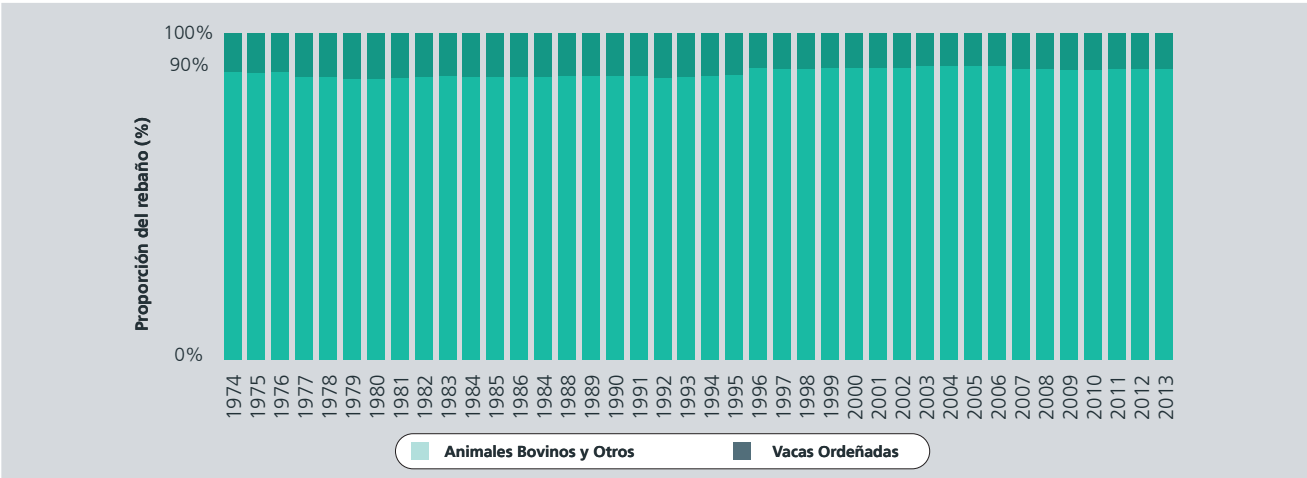


Figura 16 - Proporción de vacas ordeñadas en el total del rebaño bovino (1974 a 2013)

Tabla 5 - Bases de Datos Disponibles Referentes al Total de los Rebaños				
Fuente (IBGE)	Variables <sup>1</sup>	Unidad Territorial	Periodo Disponible	Periodo Utilizado
Investigación Ganadera Municipal	(73) Rebaño efectivo, por tipo de rebaño	Municipio	1974-2016 (anual)	1974-2016 (anual)
Investigación Ganadera Municipal	(94) Vacas Ordeñadas	Municipio	1974-2016 (anual)	1974-2016 (anual)
Censo Agropecuario	(281) Número de animales en los establecimientos ganaderos, por especie de rebaño	UF	1970, 1975, 1980, 1985, 1995, 2006	1970
Censo Agropecuario	(1035) Número de animales en los establecimientos ganaderos, por especie de rebaño	Brasil	1920, 1930, 1940, 1950, 1960, 1970, 1975, 1980, 1985, 1995, 2006	1930, 1940, 1950, 1960

<sup>1</sup> El número entre paréntesis indica la referencia de la tabla en el Sistema IBGE de Recuperación Automática - SIDRA/IBGE (<http://sidra.ibge.gov.br/>).

En relación con el consumo de desedentación, debido a la falta de otras referencias, se propone la tasa del 80% adoptada en otros estudios (ANA, 2017; ONS, 2003). En consecuencia, el retorno a través de la excreta sólida y líquida o incluso a través de la transpiración de los animales es del 20%.

En el caso de volúmenes adicionales de agua destinados a otras necesidades ganaderas, se invierte la relación consumo x rendimiento (20% x 80%), con la adopción de los valores típicamente considerados en el suministro en general (rendimiento del 80% de la retirada como efluente). Así, en los rebaños en los que se consideraran estos volúmenes, el porcentaje medio de consumo (desedentación + otras necesidades) es del 60% para las vacas ordeñadas, cerdos y pollos; y 69% para los demás gallináceos.

Teniendo en cuenta los coeficientes técnicos adoptados y las bases de datos sobre los rebaños constituidas, interpoladas y completadas, se calcularon los caudales de retirada, consumo y retorno para el suministro animal de acuerdo con las ecuaciones 6, 7 y 8. El caudal total para el abastecimiento de animales en el municipio corresponde a la suma de los Caudales necesarios para los diferentes rebaños.

Para la proyección de los rebaños municipales (horizonte 2030), las tasas promedio observadas en el corto (2006-2014) y mediano plazo (2000-2014) se determinaron inicialmente en las 137 mesoregiones brasileñas, agrupadas en cuatro tipos de rebaños (vacuno, suino, avícola y otros). Al definir los períodos y buscar información adicional, se consultaron documentos sectoriales y gubernamentales (MAPA, 2011; UFMG, 2015; FIESP, 2015).

Específicamente en relación con la ganadería bovina (grupo bovinos - otros), las proyecciones de la tendencia se ajustaron al resultado del estudio Escenarios para la Ganadería de Carne en la Amazonía, realizado por la UFMG (2015). El estudio contempla los estados de la Amazonía

#### Ecuación 6

$$Q_d = \sum (\text{Reb}_{(\text{rebaño, animales})} \cdot q_{(\text{rebaño, animales})})$$

#### Ecuación 7

$$Q_r = \sum (Q_d_{(\text{rebaño, animales})} \cdot C_r_{(\text{rebaño, animales})})$$

#### Ecuación 8

$$Q_c = Q_d - Q_r$$

#### Ecuación 9

$$\text{Reb}_{2030 (\text{especie, animales})} = \text{Reb}_{\text{año 1} (\text{especie, animales})} \cdot (\text{tx}_{\text{grupo, mesoregión}})^{\text{x años}}$$

En que:

- $Q_d$  = caudal de retirada animal para un municipio determinado (litros.día-1);  
 $\text{Reb}$  = número de animales por especie para un municipio determinado (número de cabezas);  
 $q$  = es el coeficiente de retirada animal por día obtenido a partir de la matriz de coeficientes técnicos (litros.día-1 por especie animal).

En que:

- $Q_r$  = caudal de retirada animal para determinado municipio (litros.día-1);  
 $Q_d$  = caudal de retirada animal para determinado municipio, por rebaño (litros.día-1);  
 $C_r$  = coeficiente de retorno para determinado rebaño animal (%).

En que:

- $Q_c$  = caudal para suministro animal para determinado municipio (litros.día-1);  
 $Q_d$  = caudal de retirada animal para determinado municipio (litros.día-1);  
 $Q_r$  = caudal de retorno animal para determinado municipio (litros.día-1).

En que:

- $\text{Reb}_{2030}$  = número de animales de una determinada especie en el municipio en 2030 (número de cabezas);  
 $\text{Reb}_{\text{año 1}}$  = número de animales por especie en el municipio en el año-diagnóstico de referencia (número de cabezas);  
 $\text{tx}$  = tasa de crecimiento medio de la mesoregión por 4 grandes grupos de rebaños (ganado, aves, cerdos y otros) (%).

Legal (AM, PA, RO, TO, MT, AC, AP, MA, RR) - principales áreas de expansión reciente y futura de la actividad y, en consecuencia, del uso del agua para el suministro animal.

Con un enfoque amplio y profundo, el estudio de la UFMG esbozó tres escenarios futuros para la expansión de los rebaños en las UF. Para estimar las demandas hídricas futuras, se adoptó el escenario de mayor crecimiento en cada UF. La desagregación de la información

en las mesoregiones y municipios siguió las tendencias de crecimiento obtenidas en los datos de PPM/IBGE.

Después de la definición de las tasas por mesoregión, se realizó la proyección de los rebaños, por municipio correspondiente y para cada uno de los cuatro grupos de rebaños, tal como se presenta en la Ecuación 9.

3.3 Resultados

La Figura 17 muestra la intensidad del uso de agua para el abastecimiento de animales en los municipios brasileños, ilustrando en qué regiones predominan las extracciones por tipo de rebaño. Se observa la importancia de los caprinos y ovinos en la región semiárida brasileña; de aves y suinos en el Centro-Sur (muchas veces, en régimen de confinamiento); y de los bovinos en Rio Grande do Sul, Minas Gerais, en los estados del Centro-Oeste y en la frontera agrícola del Norte (Pará y Rondônia). En el Sur y en la región del Triángulo Mineiro hay mayor convivencia de diferentes clases de rebaños.

La Figura 17 también ilustra la proporción actual de rebaños en la oferta total de animales en el país, donde se observa el predominio del rebaño bovino en la composición de la demanda (88%), seguido por los suinos (5%) y avícolas (2%).

La infografía (Figura 18) presenta de forma espacial y gráfica la síntesis de los resultados obtenidos para el suministro animal (1931-030). Entre 2017 y 2030, se observa la perspectiva de expansión de los rebaños y, en consecuencia, el uso del agua hacia la Amazonía Legal, mientras que el uso tiende a disminuir en varios municipios del Centro-Sur.

El gráfico (Figura 18) presenta las series históricas de los Caudales de retirada, consumo y retorno para todo el país. Además, se presenta una tabla con los diez municipios con las extracciones más relevantes en 2017.

Se puede acceder a resultados más detallados en [www.snirh.gov.br](http://www.snirh.gov.br) y [metadados.ana.gov.br](http://metadados.ana.gov.br).

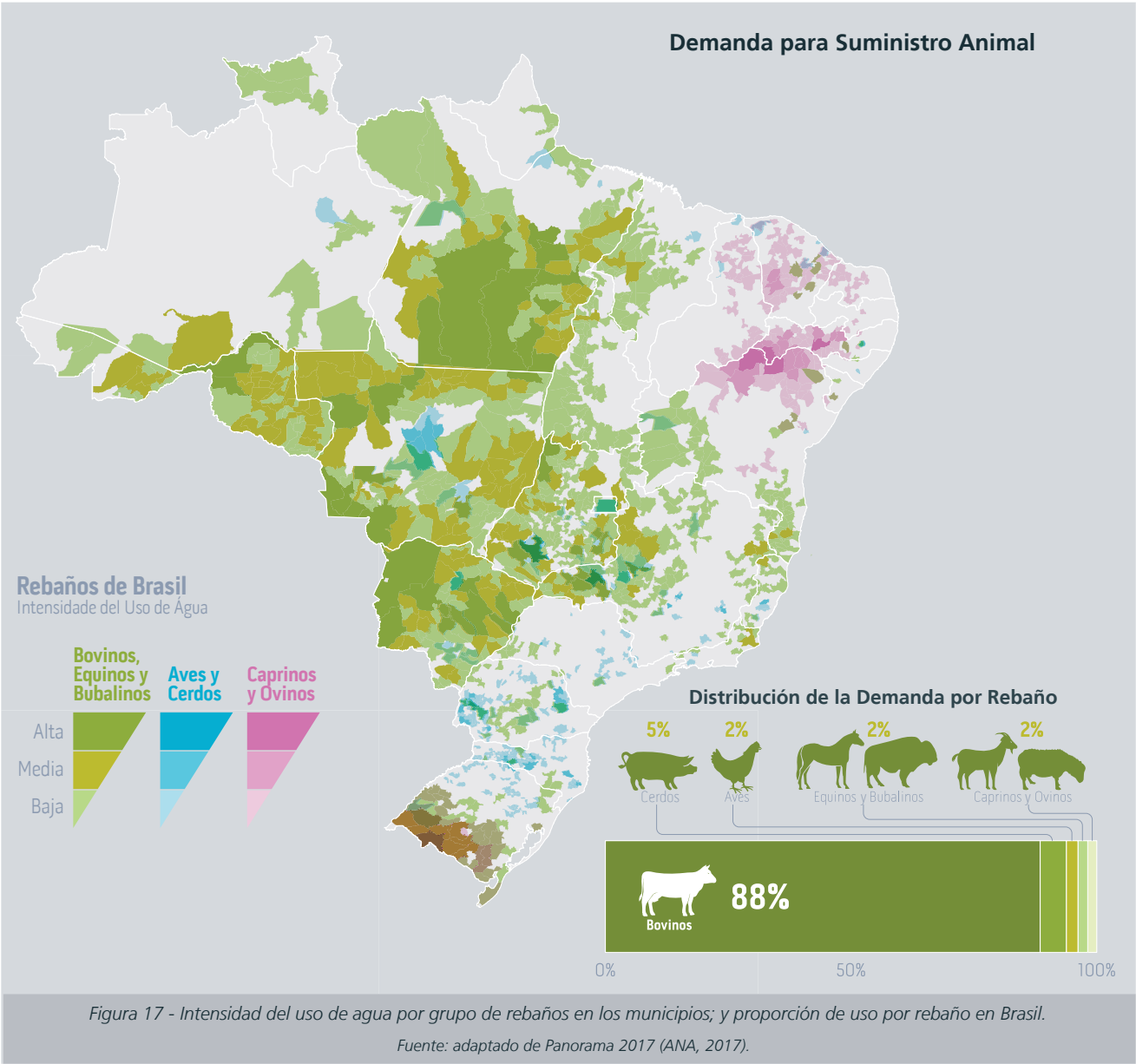
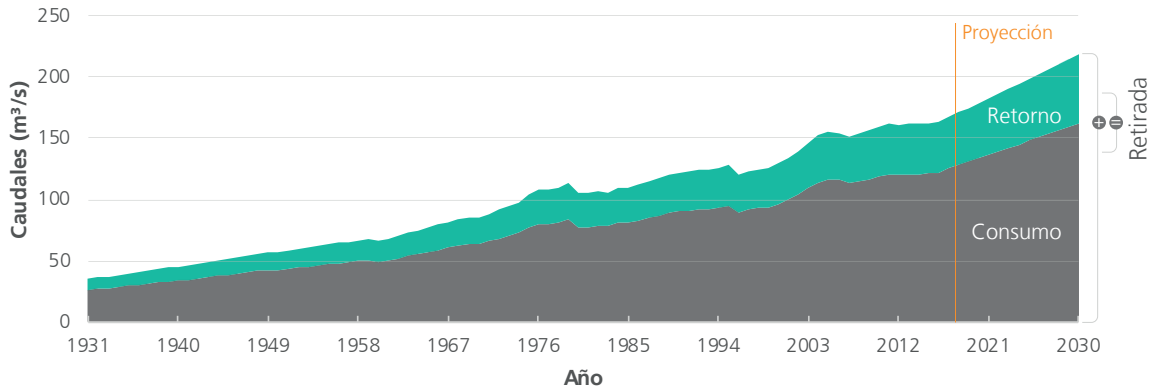




Figura 18 - Síntesis de la Serie de Caudales 1931 a 2030 - Suministro de Animales



Caudales de Retirada por Municipio (m³/s)



Mayores Caudales Retirados (m³/s) por Municipio (2017) - Animal			
Ranking	UF	Municipio	Caudal Retirado (m³/s)
1°	PA	São Félix do Xingu	1,336
2°	MS	Corumbá	1,080
3°	MT	Cáceres	0,679
4°	PA	Marabá	0,674
5°	MS	Ribas do Rio Pardo	0,666
6°	MT	Vila Bela da Santíssima Trindade	0,619
7°	PA	Novo Repartimento	0,608
8°	MT	Juara	0,592
9°	RO	Porto Velho	0,575
10°	PA	Cumaru do Norte	0,487

Aunque Corumbá/MS y São Félix do Xingu/PA se destacan por su alta demanda, lo que refleja la alta concentración de rebaños de ganado, el uso del agua para el abastecimiento de animales se dispersa por todo el territorio nacional. Es notable, sin embargo, la concentración en Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rondônia y Pará, así como en el tradicional centro de producción de Rio Grande do Sul.

Los resultados detallados de las series históricas de usos consuntivos, para todos los municipios, pueden consultarse en [www.snirh.gov.br/usos-da-agua](http://www.snirh.gov.br/usos-da-agua)



## 4 INDUSTRIA DE TRANSFORMACIÓN

Industria de papel en Mogi Guaçu (SP)  
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

### 4.1 Introducción

Brasil es uno de los países más industrializados del mundo, siendo el sector de la industria responsable, en 2015, por la generación de R\$ 1,3 billones en divisas (22,7% del PIB), 40% de las exportaciones y 10 millones de empleos en 512.436 establecimientos (CNI, 2017). La intensificación y madurez del sector hace que Brasil tenga un enorme y variado parque industrial que produce desde bienes de consumo (como alimentos y ropa) hasta tecnología de punta.

El agua tiene una gran diversidad de aplicaciones en el sector industrial, dependiendo del tipo de producto o servicio y de los procesos asociados. Puede aplicarse como materia prima, reactivo y disolvente de sustancias sólidas, líquidas y gaseosas; en el lavado y retención de materiales contenidos en mezclas; como vehículo de suspensión; y en operaciones de enfriamiento y transmisión de calor.

Históricamente, se ha hecho un gran esfuerzo en las estimaciones del uso del agua en el sector industrial. Con la escasez de inventarios de medición, las estimaciones indirectas surgen como una alternativa necesaria. En este estudio, la disponibilidad de microdatos sobre los trabajadores de la industria motivó la construcción de una matriz de coeficientes técnicos que expresa las relaciones del uso del agua en las diferentes tipologías analizadas.

Consciente del desafío de caracterizar la demanda del sector, ANA ha profundizado en los análisis relacionados con la industria de la transformación. El reciente documento *Agua en la Industria: uso y coeficientes técnicos* (ANA, 2017), disponible en <http://goo.gl/LtuwxL>, detalla la metodología utilizada y los resultados obtenidos, que son los mismos que los utilizados en este estudio. Este capítulo presenta una visión general y una síntesis de los principales aspectos considerados en el análisis retrospectivo, actual y futuro.

Dado el gran número de usos del agua para la actividad industrial, la Figura 19 ilustra la variación de los Caudales de retirada en las unidades federales en 2017. Sobre sale el estado de São Paulo, con caudales de retirada de 57,9 m<sup>3</sup>/s, lo que corresponde a cerca del 30% del total del país (189,2 m<sup>3</sup>/s).

Como referencia de las variaciones de las extracciones en las regiones brasileñas, la Figura 20 presenta la participación de éstas en el total nacional.

## 4.2 Método y Base de Datos

El diagrama de flujo (Figura 21) presenta la síntesis del método y las bases de datos para estimar el uso del agua en la industria de transformación.

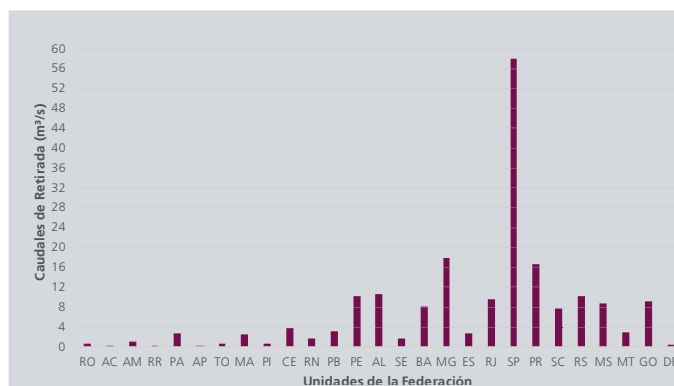


Figura 19 - Caudales de Retirada (m³/s) para el Sector Industrial en las UF

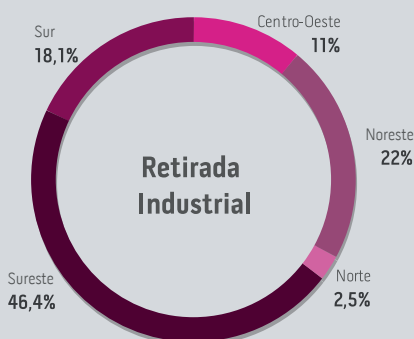


Figura 20 - Porcentajes de Retirada para el Sector Industrial en Relación con la Retirada Total en Cada Región

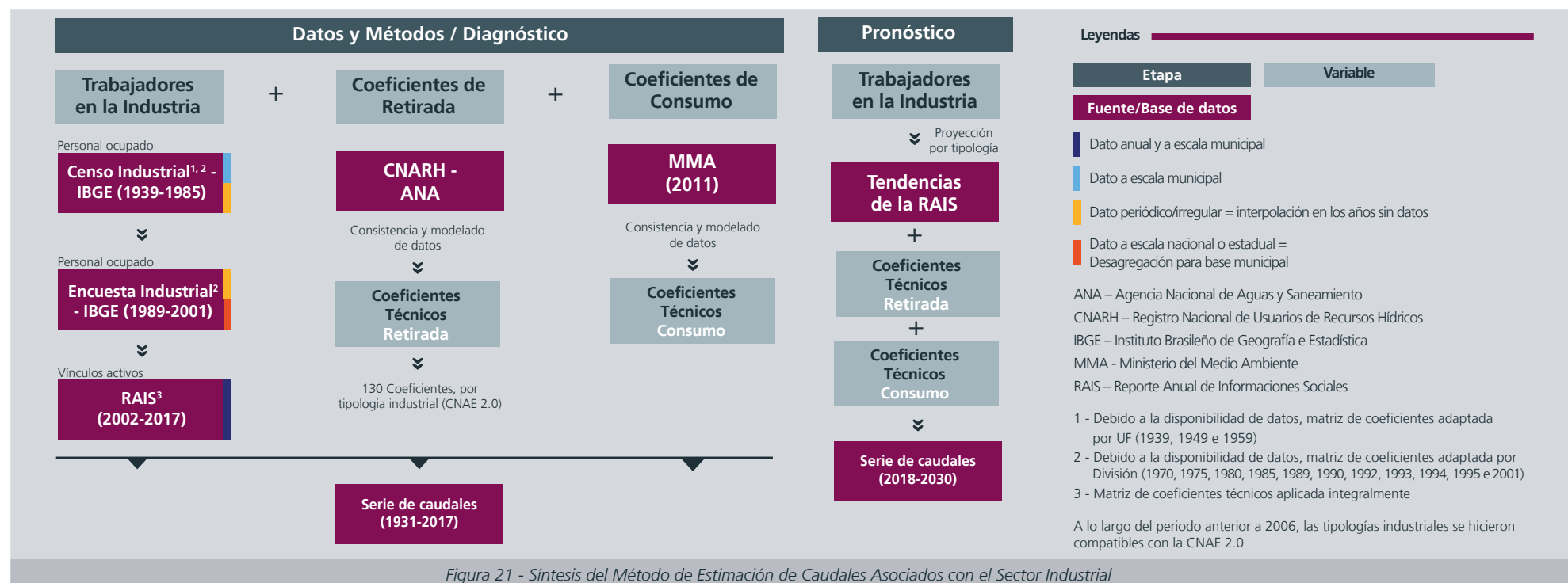


Figura 21 - Síntesis del Método de Estimación de Caudales Asociados con el Sector Industrial



El método para estimar el uso del agua en la industria de transformación consiste en aplicar **coeficientes técnicos** (caudales medios, por trabajador, por tipología industrial) al **número de trabajadores** de una tipología determinada en un municipio determinado. Los mayores retos del método están relacionados con la consistencia y compatibilidad de las bases de datos sobre el número de trabajadores y con la obtención y validación de los coeficientes técnicos de retirada y de consumo.

El método propuesto se fundamentó en la disponibilidad de datos sobre el número de trabajadores, por tipología industrial, a lo largo de las décadas. Al número de trabajadores se asocia una matriz de coeficientes técnicos que indica la cantidad promedio de agua que demandan los procesos vinculados a una tipología industrial. La demanda total en el municipio corresponde a la suma de las diferentes tipologías (Ecuaciones 10, 11 y 12). Este tipo de enfoque ha sido adoptado en varias aplicaciones en Brasil y en el mundo, como se analiza en ANA (2017).

Para la construcción de la matriz de **coeficientes técnicos** de retirada, se analizaron y consolidaron los datos del Registro Nacional de Usuarios de Recursos Hídricos - CNARH / ANA, que incluye a los usuarios que utilizan los recursos hídricos bajo el dominio de la Unión y de los Estados. Los análisis y la modelización realizados se detallan en ANA (2017).

Al considerar las tipologías, se adoptó la Clasificación Nacional de Actividades Económicas - CNAE 2.0, que para la industria de transformación tiene 24 divisiones (códigos 10 a 33), 103 grupos y 258 clases. Se buscaron coeficientes al nivel jerárquico más detallado, considerando el número de registros disponibles, su variabilidad y representatividad. Cuando este detalle no fue posible, se consideró el coeficiente del grupo respectivo y, en el último caso, la división.

En este estudio se obtuvieron 101 coeficientes técnicos en la jerarquía de clases de la CNAE 2.0, es decir, para el 40% de las clases, y que representan alrededor del 85% de la demanda hídrica. En las otras clases (15% de

la demanda) se obtuvieron coeficientes únicos para el grupo o división respectivo.

Teniendo en cuenta el valor medio de retirada obtenido, agrupado por División CNAE 2.0, existe una buena adherencia, en términos de orden de magnitud, con los estudios nacionales e internacionales consultados (Figura 22). La matriz completa está disponible en [www.snirh.gov.br/usuarios-da-agua](http://www.snirh.gov.br/usuarios-da-agua).

#### Ecuación 10

$$Q_{\text{Ret}} = \sum (E_{(\text{tipología, trabajadores})} \cdot k_r(\text{tipología, trabajadores}))$$

##### En que:

- $Q_{\text{ret}}$  = caudal de retirada de la industria de transformación en el municipio  
 $E$  = número de empleados por tipología industrial para un municipio determinado;  
 $k_r$  = coeficiente de retirada por tipología industrial (litros. número de empleados.día-1).

El caudal de consumo fue estimado por la Ecuación 11

#### Ecuación 11

$$Q_{\text{Cons}} = \sum (Q_{\text{Ret (tipología)}} \cdot k_c(\text{tipología, trabajadores}))$$

##### En que:

- $Q_{\text{Cons}}$  = caudal de consumo total en el área urbana (m³/s);  
 $Q_{\text{ret}}$  = caudal de retirada de la industria de transformación para determinada tipología en el municipio  
 $k_c$  = coeficiente de consumo (%).

El caudal de retorno en base municipal fue definido por la diferencia entre retirada y consumo, de acuerdo con la Ecuación 12:

#### Ecuación 12

$$Q_{\text{retorno}} = Q_{\text{Ret}} - Q_{\text{Cons}}$$

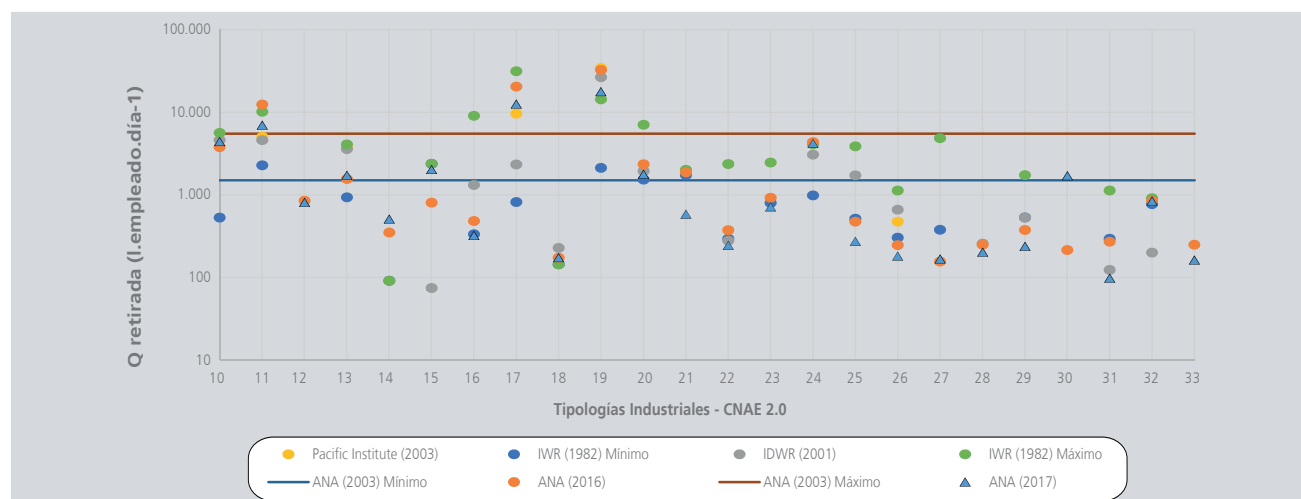


Figura 22 - Comparación de los coeficientes técnicos de retirada para el sector industrial por división de la CNAE 2.0



Tabla 6 - Matriz Agregada de Coeficientes Técnicos para la Estimación de la Demanda de Agua en el Sector Industrial Brasileño

CNAE 2.0	Tipología industrial	Coeficientes Técnicos*	
		Retirada (l/empleo/día)	Consumo (%)
10	Fabricación de productos alimenticios	4.600	75,9%
11	Fabricación de bebidas	8.713	24,4%
12	Fabricación de productos del tabaco	811	20,0%
13	Fabricación de productos textiles	1.873	22,5%
14	Confección de prendas de vestir y accesorios	510	18,5%
15	Preparación de cueros y fabricación de artículos de cuero, artículos de viaje y calzados	2.027	15,9%
16	Fabricación de productos de madera	344	24,3%
17	Fabricación de celulosa, papel y productos de papel	8.865	16,6%
18	Impresión y reproducción de grabaciones	173	18,8%
19	Fabricación de coque, productos petrolíferos y biocarburantes	18.147	85,0%
20	Fabricación de productos químicos	1.715	34,4%
21	Fabricación de productos farmoquímicos y farmacéuticos	529	20,0%
22	Fabricación de productos de caucho y plástico	248	20,8%
23	Fabricación de productos minerales no metálicos	676	46,5%
24	Metalurgia	3.781	24,3%
25	Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipos	281	46,8%
26	Fabricación de equipos informáticos, electrónicos y ópticos	182	20,0%
27	Fabricación de maquinaria, aparatos y materiales eléctricos	167	20,0%
28	Fabricación de maquinaria y equipos	203	18,9%
29	Fabricación de vehículos automotores, remolques y carrocerías	235	29,4%
30	Fabricación de otros equipos de transporte, excepto vehículos automotores	1.270	19,8%
31	Fabricación de muebles	98	20,0%
32	Fabricación de productos diversos	842	20,0%
33	Mantenimiento, reparación e instalación de maquinaria y equipos	162	20,0%

\* Los coeficientes promedios por División de la CNAE 2.0 se estimaron a partir de la suma del flujo y el número de empleados de las respectivas clases. Este valor puede presentar fluctuaciones interanuales en función de la diferente proporción de las clases en el total de la División.

La matriz completa está disponible en [www.snirh.gov.br/usos-da-agua](http://www.snirh.gov.br/usos-da-agua)

En la Tabla 6 se presentan los coeficientes promedios agrupados por División de la CNAE 2.0. Cabe señalar que la metodología empleada utiliza alrededor de 130 coeficientes y los resultados en las 24 divisiones de la industria de la transformación son una agrupación de las clases y grupos respectivos.

Los **coeficientes técnicos de consumo** para las tipologías industriales se basan en un estudio del MMA (Brasil, 2011). Aunque la matriz utiliza como variable explicativa de la demanda hídrica el volumen de producción y no el número de empleados, se adoptaron los factores de proporcionalidad entre los coeficientes de retirada y de consumo (%), ya que estos valores fueron propuestos y validados con la participación del sector industrial. Para las divisiones 27, 31, 32 y 33 se adoptó un consumo del 20%, basado en ANA (2013), debido a la falta de datos. En la Tabla 6 también se presentan los coeficientes promedios de consumo por División.

Se puede observar que los coeficientes de retirada y consumo más altos indican una mayor intensidad de uso en relación con el número de empleados, pero no representan necesariamente sectores más hidointensivos. En otras palabras, hay actividades en las que el coeficiente es alto simplemente por la baja necesidad de mano de obra, con bajo impacto en la demanda total.

En cuanto a las bases de datos sobre el **número de trabajadores**, cabe señalar que a partir de 2002 se dispone de información censal a partir del Reporte Anual de Información Social (RAIS), que se ajusta directamente a la matriz de coeficientes elaborada. El Ministerio de Trabajo dispone de microdatos RAIS en <http://pdet.mte.gov.br/microdados-rais-e-caged/>.

Para las bases de datos de los Censos Industriales y de las Investigaciones Industriales Anuales - PIAs (anteriores a 2002), las bases de datos debieron, según el caso, ser convertidas, completadas y desagregadas. En los años del censo, se introdujeron manualmente unos 80.000 registros de cuadernos pu-

blicados por el IBGE. En el caso de los PIAs (IBGE, 2016a), los datos están disponibles en el Sistema de Recuperación Automática del IBGE - SIDRA (<http://sidra.ibge.gov.br>).

Los coeficientes técnicos del período anterior al RAIS se agruparon en la jerarquía y escala a la que estaban disponibles los datos.

En el Censo Industrial de 1939, 1949 y 1959, sólo se contabilizó el número total de trabajadores de la industria de transformación, por municipio, sin distinción de tipología. Se decidió producir una matriz de coeficientes por UF, ponderando el peso de las diferentes tipologías industriales presentes en la UF en 1970 (primer año con datos por tipología), ya que los coeficientes genéricos para el país causarían mayores distorsiones en las estimaciones.

En los Censos posteriores (1970-1985) y en las Investigaciones Industriales Anuales - PIA (1989-2001) los datos ya presentaban tipologías industriales, pero en forma agregada (División), sin el nivel de detalle actual. En estos casos, se adoptaron coeficientes específicos, por División de Industria, adaptados a la jerarquía de datos.

Adicionalmente, debido a la diferente conceptualización entre las encuestas del Censo y los PIAs, que consideran personal ocupado vinculado a la producción, y el RAIS, que considera una conceptualización más integral (enlaces activos), fue necesario compatibilizar la matriz por División para su aplicación en el período anterior a 2002. Para ello, se aplicó un factor de corrección entre el personal ocupado total y el personal ocupado vinculado a la producción, por tipología industrial, observado en los PIAs realizados entre 1966 y 1995.

Aún en los años en que se adoptó el PIA (1989-2001) fue necesario desagregar por municipios los datos disponibles sólo por UF o a nivel nacional, utilizando las proporciones observadas en 2002 en el RAIS.

Asimismo, en el período anterior a 2002, los estudios muestran una temporalidad irregular, que requiere la interpolación lineal del número de trabajadores en años sin información.

Finalmente, los sistemas de clasificación de las industrias variaron a lo largo de las décadas en las que se generaron estas diferentes bases de datos, requiriendo la conversión de todas las bases de datos a la clasificación CNAE 2.0. Incluso en la base de datos más reciente (RAIS), la conversión fue necesaria entre 2002 y 2005, cuando se utilizó la CNAE 1.0.

Las proyecciones de uso industrial se basaron en el mismo método para la situación actual, proyectándose los enlaces activos y aplicándose los mismos coeficientes del diagnóstico.

En el corto plazo, correspondiente a los dos primeros años de la proyección, los índices de coyuntura se aplicaron, a nivel nacional, por División, de la Encuesta Industrial Mensual de Empleo y Salarios (PIMES), que reflejan la reciente situación de caída de la actividad industrial, no captada por otros indicadores.

En los demás años se utilizó la tasa media de crecimiento observada en el corto plazo (2008-2013) y en el mediano plazo (2002-2013). Las tasas se calcularon para las 137 mesoregiones brasileñas mediante una agrupación de tipologías industriales en predominantemente rurales (Divisiones 10, 16 y 17) y predominantemente urbanas (otras Divisiones), y se aplicaron a los municipios correspondientes.

### 4.3 Resultados

La Figura 23 muestra la intensidad del uso del agua de los principales grupos de la industria de transformación. La industria alimentaria; bebidas; celulosa, papel y productos de papel; petróleo y biocombustibles; productos

químicos y la metalurgia corresponden, además, a cerca del 85% de la demanda de retirada y al 90% del consumo en Brasil (Figura 24).

La mayor concentración de industrias de transformación en Brasil se encuentra en la región Sureste, principalmente en los estados de São Paulo, Río de Janeiro y Minas Gerais. En el Sureste existen parques industriales diversificados, especialmente en las industrias química, siderúrgica y automovilística. En el Sur, la segunda región más desarrollada industrialmente de Brasil, destacan las agroindustrias que se centran en el procesamiento y la transformación de productos primarios. El perfil de la actividad industrial en la región Noreste está ligado principalmente a la producción textil y al sector sucroalcoholero. El Norte y el Centro-Oeste son regiones de menor concentración industrial, pero con predominio de agroindustrias que son importantes consumidoras de agua, lo que puede afectar el balance hídrico local.

La infografía (Figura 25) presenta de forma espacial y gráfica la síntesis de los resultados obtenidos para el sector industrial en el período analizado (1931-2030), totalizando 189,2 m³/s en 2017. El gráfico presenta las series históricas de caudales de retirada, consumo y retorno en m³/s para todo el país. Además, se presenta una tabla con la clasificación de los diez municipios con los mayores caudales de retirada.

Los resultados más detallados pueden consultarse en [www.snirh.gov.br](http://www.snirh.gov.br) y [metadados.ana.gov.br](http://metadados.ana.gov.br).

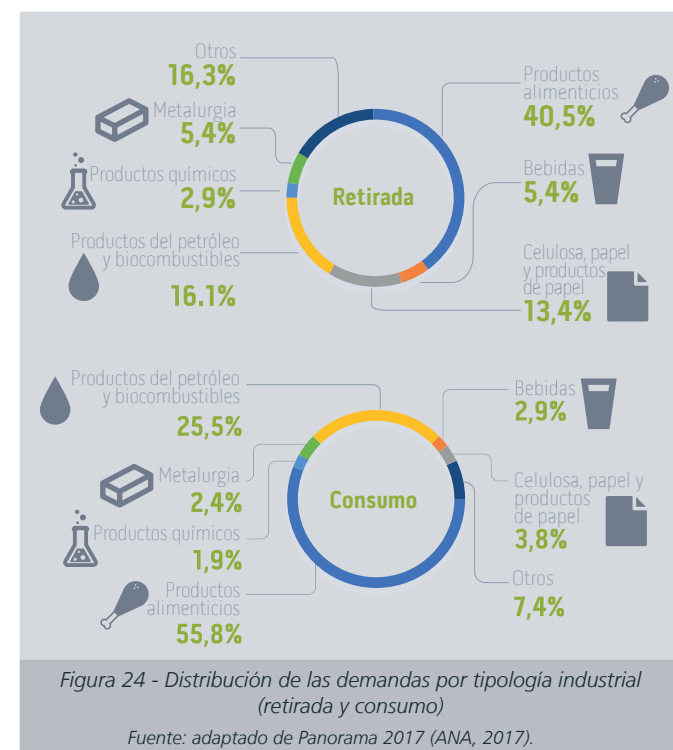
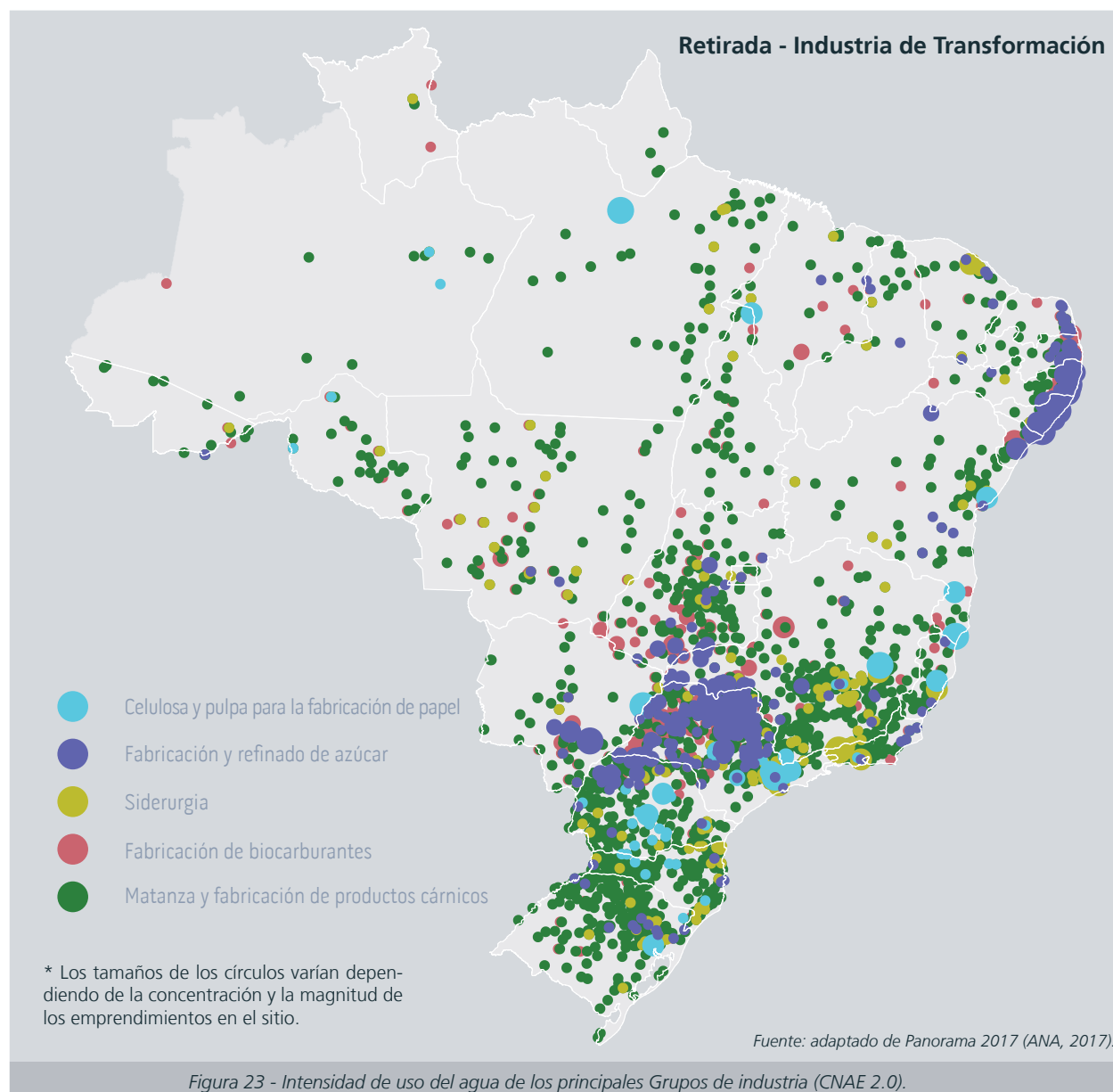
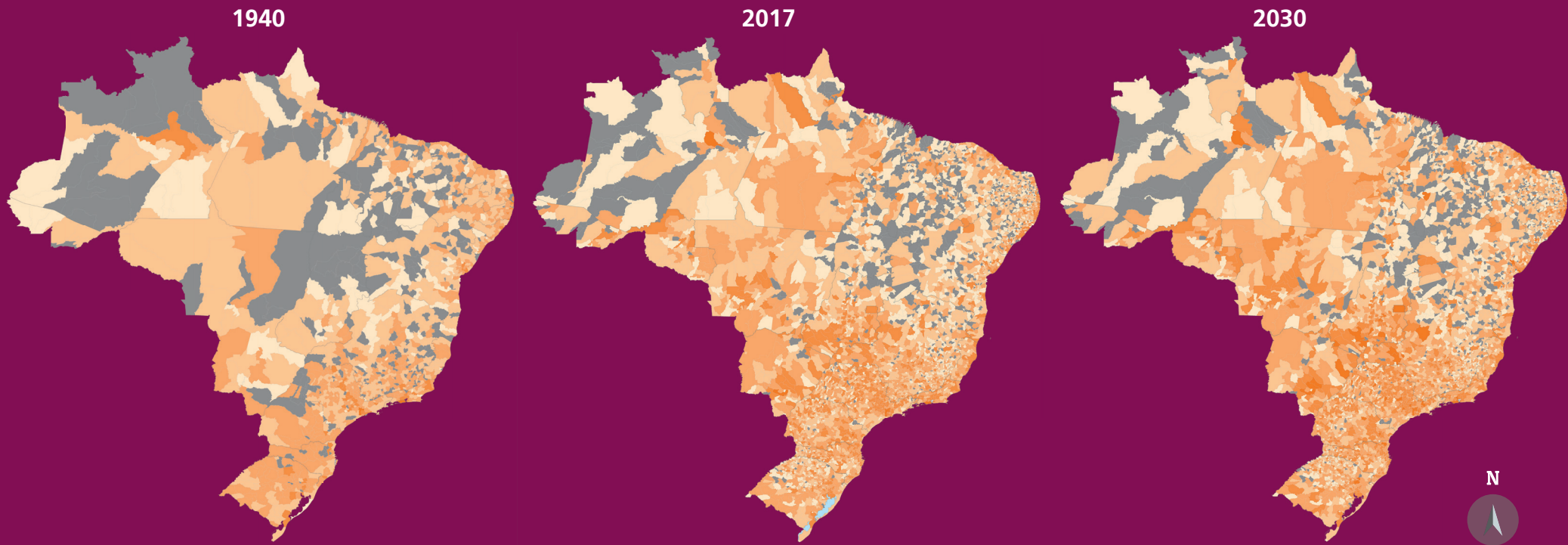
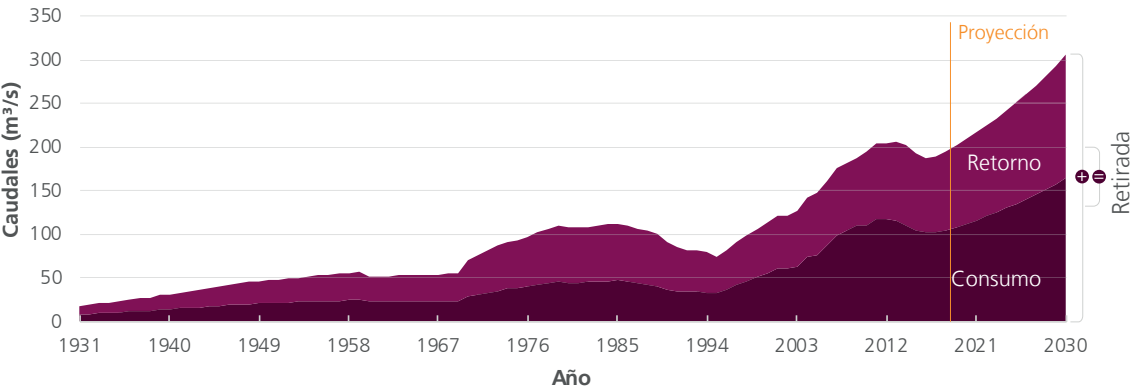
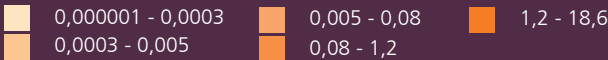


Figura 25 - Series de Caudales de 1931 a 2030 - Industria de Transformación



Caudales de Retirada por Municipio (m³/s)



Mayores Caudales Retirados (m³/s) por Municipio (2017) - Industria de Transformación

Ranking	UF	Municipio	Caudal Retirada (m³/s)
1°	SP	São Paulo	4,965
2°	RJ	Rio de Janeiro	4,806
3°	MS	Três Lagoas	3,244
4°	BA	Mucuri	1,921
5°	AL	Rio Largo	1,569
6°	PR	Telêmaco Borba	1,564
7°	AL	Coruripe	1,410
8°	RJ	Volta Redonda	1,351
9°	BA	Camaçari	1,345
10°	SP	Sertãozinho	1,328

En los valores de flujo de retirada para uso industrial, destaca el liderazgo de los municipios de Río de Janeiro (RJ) y São Paulo (SP). Otras capitales y municipios vecinos de las regiones metropolitanas también tienen altas demandas de agua, con los mayores caudales de retirada de agua en municipios con centros agroindustriales de industrias hidro-intensivas (papel y celulosa, siderurgia, azúcar y etanol, etc.).

Los resultados detallados de las series históricas de usos consuntivos, para todos los municipios, pueden consultarse en [www.snirh.gov.br/usos-da-agua](http://www.snirh.gov.br/usos-da-agua)



## 5.1 Introducción

La minería (o industria extractiva de minerales) abarca los procesos de retirada de sustancias minerales. Brasil es uno de los mayores productores mundiales de diversas sustancias, como mineral de hierro (3er lugar en la clasificación), bauxita y alúmina (3er lugar), niobio (1er lugar) y fosfato (5to).

La minería requiere volúmenes significativos de agua, que a nivel nacional representan el 1,6% de la retirada. El volumen de retirada es equivalente al del abastecimiento de toda la población rural brasileña, y la minería se caracteriza por una fuerte concentración en el territorio, especialmente en algunos municipios de Minas Gerais y Pará.

Estudios previos (notablemente en ONS, 2003; 2005) utilizaron coeficientes relacionados con el valor de la producción extractiva de minerales, con parámetros únicos de 0,132 m<sup>3</sup> (retirada) y 0,106 m<sup>3</sup> (retorno) de agua por cada US\$1 producido.

El método actual utiliza datos de producción mineral efectiva, por tipo o grupo de sustancias, asociados a coeficientes técnicos específicos (volumen de agua necesario para producir una tonelada, según la tipología). Este enfoque brinda una alta precisión a las estimaciones y permite un análisis más detallado del uso del agua por parte de la industria extractiva.

Dado el gran número de usos del agua para los servicios mineros, la Figura 26 ilustra la variación de los caudales de retirada en las unidades federales. Además del destacado liderazgo de Minas Gerais (53%) y Pará (28% del total), hay una mayor demanda en los estados del Sur y São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás y Bahía.

En el gráfico 27 se presentan los respectivos porcentajes relativos de retirada por Región.

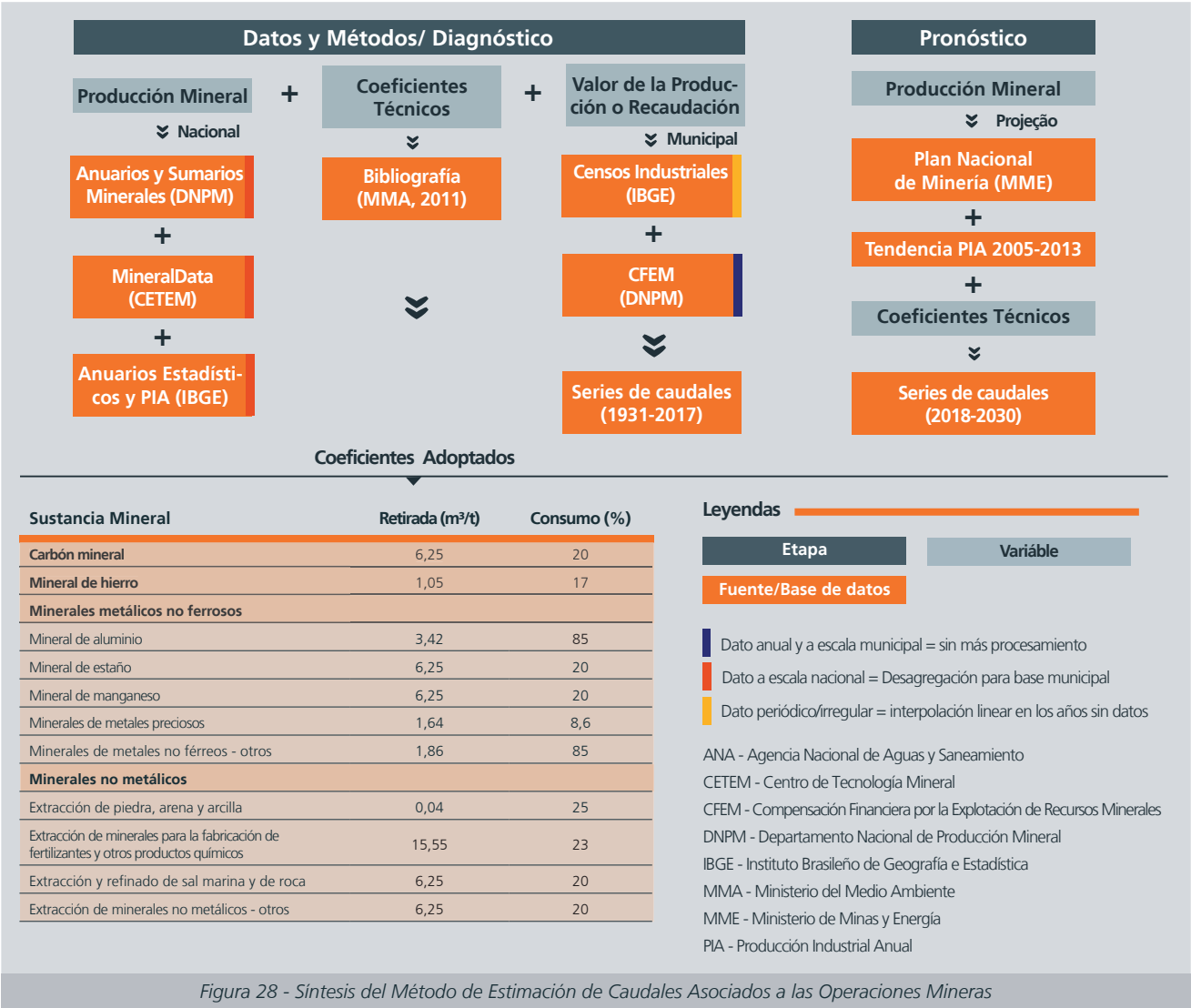
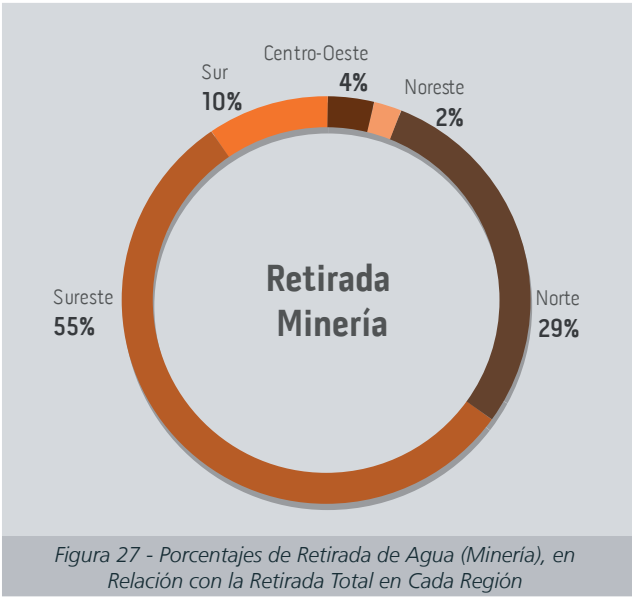
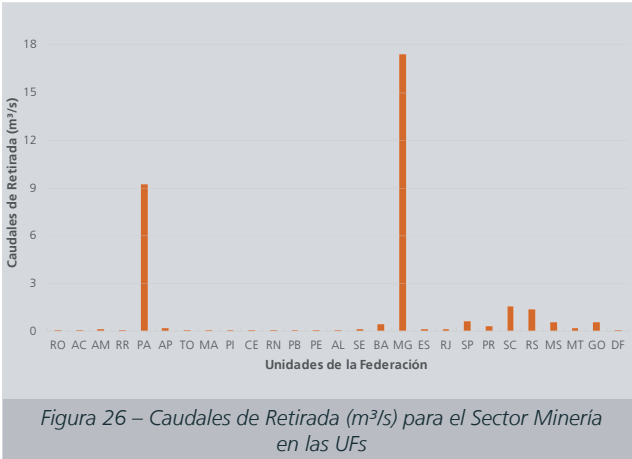
## 5 MINERÍA

Minería en Serrana (SP)  
Raylton Alves - Banco de Imágenes/ANA



5.2 Método y Base de Datos

El diagrama de flujo (Figura 28) presenta un resumen del método para estimar los caudales asociados con la minería.



Para el cálculo se combina la **producción mineral** (toneladas/año), por tipo o grupo de sustancias, con **coeficientes técnicos** (volumen medio de agua necesario para la producción de cada tonelada). Dada la importancia y representatividad, se definieron cuatro grupos de minerales: carbón, mineral de hierro, minerales metálicos no ferrosos y minerales no metálicos. La mayor parte de la demanda actual de metales no ferrosos se concentra en la producción de aluminio y sus concentrados (bauxita); y de minerales no metálicos en la retirada de minerales para la fabricación de fertilizantes y otros productos químicos.

Las series históricas de volumen de la **producción mineral** están disponibles sólo en el agregado nacional. En el período anterior a 2005 se utilizaron los datos de MineralData (<http://mineraldata.cetem.gov.br/>), mantenidos por el Centro de Tecnología Mineral (CETEM). Las principales fuentes de Mineral Data son el Anuario Mineral Brasileño y el Resumen Mineral Brasileño, que publican datos desde 1972 y 1981, respectivamente. Datos anteriores a los años 1980 se obtuvieron de las publicaciones del IBGE<sup>1</sup> (desde 1940) o, en el caso del mineral de hierro, del Balance Mineral Brasileño (DNPM; desde 1930). A partir de 2005 se utilizan preferentemente los datos de producción de la Pesquisa Industrial Anual - PIA (IBGE, 2016b).

Para la desagregación de la producción de la escala nacional a la municipal se utilizaron series auxiliares de datos de la actividad minera: series de valor de la producción mineral de los Censos Industriales (decenales o quinquenales), de 1940 a 1985; y, a partir de 2004, series municipales de recaudación de la CFEM - Compensación Financiera por la Explotación de los Recursos Minerales (DNPM).

<sup>1</sup> Datos de los años 1940, 1950, 1970, 1975, 1985 obtenidos de las siguientes publicaciones:

Anuario estadístico de Brasil 1960; Brasil: series estadísticas retrospectivas 1977; y Anuario estadístico de Brasil 1989.

La desagregación de las demandas en base municipal también consideró el análisis de los datos georreferenciados de las minas, puestos a disposición por la DNPM. Este análisis identificó que la producción de mineral de hierro se distribuye en municipios de los estados de Amazonas, Amapá, Bahía, Ceará, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe y São Paulo. La producción de carbón se concentra en los estados de Paraná, Santa Catarina y Rio Grande do Sul. En estas dos categorías, que concentran la mayor parte de la demanda, la desagregación de la producción nacional en los municipios se realizó únicamente en los respectivos estados productores identificados.

Dada la concentración de gran actividad minera en unos pocos municipios, el uso de datos secundarios para desagregar la producción minera, con los criterios adoptados, tiene como consecuencia un importante refinamiento de la asignación territorial de las demandas. El cálculo global utilizando las unidades efectivamente producidas constituye otro importante avance en el perfeccionamiento de las estimaciones sectoriales.

Cabe señalar que, en años sin datos, con datos omitidos o con lagunas, los valores de la producción mineral o el valor de la producción se completaron con otra fuente disponible o se interpolaron linealmente entre años con datos.

Los **coeficientes técnicos** de retirada y consumo utilizados para estimar las demandas hídricas del sector de minería se basan en el estudio realizado por MMA (Brasil, 2011) (Figura 28). Este estudio contó con la participación del sector. Un nuevo análisis de los estudios más recientes no indicó la necesidad de revisar los coeficientes.

Además de los diferentes valores de retirada ( $\text{m}^3/\text{t}$ ), destaca la variación en el consumo medio: desde el 8,6%

de la retirada (metales preciosos), llegando hasta el 85% (aluminio) (Figura 28). Considerando la participación de las diferentes tipologías, el consumo medio global de la actividad es del orden del 30% de la retirada.

Con la información de producción minera (tonelada por clase de mineral) y los coeficientes técnicos adoptados ( $\text{m}^3$  de agua por tonelada), se calcularon los caudales de retirada ( $Q_{\text{min}}$ ), el consumo y el retorno de la mineralización de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

#### Ecuación 13

$$Q_{\text{Min}} = \sum_{i=1}^n (P_{\text{min}} * k_r)$$

En que:

$Q_{\text{Min}}$  = el caudal total retirado para la minería ( $\text{m}^3/\text{año}$ ); 1 año = 31.536.000 segundos.

$P_{\text{min}}$  = es la cantidad producida de una determinada clase de mineral por municipio, en el año (t);

$k_r$  = es el coeficiente de retirada por clase de mineral ( $\text{m}^3/\text{t}$ ).

El flujo de consumo se obtuvo por:

#### Ecuación 14

$$Q_{\text{Min.cons}} = \sum_{i=1}^n (Q_{\text{Min.clase}} * k_c)$$

En que:

$Q_{\text{Min.cons}}$  = el caudal de consumo total en el municipio ( $\text{m}^3/\text{s}$ );

$k_c$  = el coeficiente de consumo por clase mineral (%).

El flujo de retorno se calculó por la diferencia entre la retirada y el consumo:

#### Ecuación 15

$$Q_{\text{Min.ret}} = Q_{\text{Min}} - Q_{\text{Min.cons}}$$



La principal referencia para un estudio sectorial que aborda el escenario futuro del sector minero es el Plan Nacional de Minería 2030 (Brasil, 2011), en el que se definieron las tasas de crecimiento de varias clases de minerales para el futuro cercano (2022) y lejano (2030).

Como referencia para la definición de las tasas de crecimiento de la producción mineral, el PNM consideró la proyección de crecimiento del PIB en un 5,1% anual, además del historial de producción de cada sustancia mineral y las coyunturas que podrían influir en la proyección. Sin embargo, la coyuntura económica utilizada como premisa en el PNM fue bastante optimista, siendo incompatible con las series registradas después del Plan.

En este sentido, para considerar los análisis del PNM y mantener una proyección más realista, se aplicaron los promedios simples entre el crecimiento del escenario establecido en el PNM y la tendencia reciente (2005-2013) observada en la producción mineral en la PIA (IBGE, 2016b).

5.3 Resultados

Las series de caudales de retirada, consumo y retorno (1931-2030) para el país se presentan en la Infografía (Figura 29). Actualmente, las demandas se concentran en los estados de Minas Gerais (53%) y Pará (28%), representando más del 85% de las extracciones, con un total de 26,6 m³/s. El total extraído por el sector fue de 32,9 m³/s en 2017.

En el gráfico (Figura 29), se observa que hubo un aumento significativo de los caudales de retirada a partir de la década de 1970. La demanda se duplicó entre 1970 y 1980 y se cuadruplicó entre 1980 y la actualidad. La reciente reducción observada en 2009 se debió a la crisis económica mundial experimentada en el período, con

importantes repercusiones en el mercado internacional de mineral de hierro. Las proyecciones para el futuro indican un crecimiento de hasta el 75% en los caudales de retirada de minerales, alcanzando los 55 m³/s en 2030.

De forma discrecional, el Cuadro 7 presenta la proporción de caudales de retirada en 2016, según las cuatro categorías de sustancias minerales. Se observa la mayor importancia del mineral de hierro en la composición de las extracciones. Los minerales metálicos no ferrosos representan la mayor parte de la demanda de consumo debido al consumo proporcionalmente mayor en relación con la retirada, principalmente por la gran producción de aluminio que representa el 80% de la producción mineral de esta clase y cuyo coeficiente de consumo medio es del 85% de la retirada.

Puede accederse a resultados más detallados en [www.snrh.gov.br](http://www.snrh.gov.br) y [metadados.ana.gov.br](http://metadados.ana.gov.br).

Tabla 7 - Demanda relativa de retirada y consumo por clase de mineral		
Clase	Retirada (%)	Consumo (%)
Carbón Mineral	6,5%	4,8%
Mineral de Hierro	49,8%	31,5%
Minerales metálicos no ferrosos	14,6%	40,0%
Minerales no metálicos	29,1%	23,7%

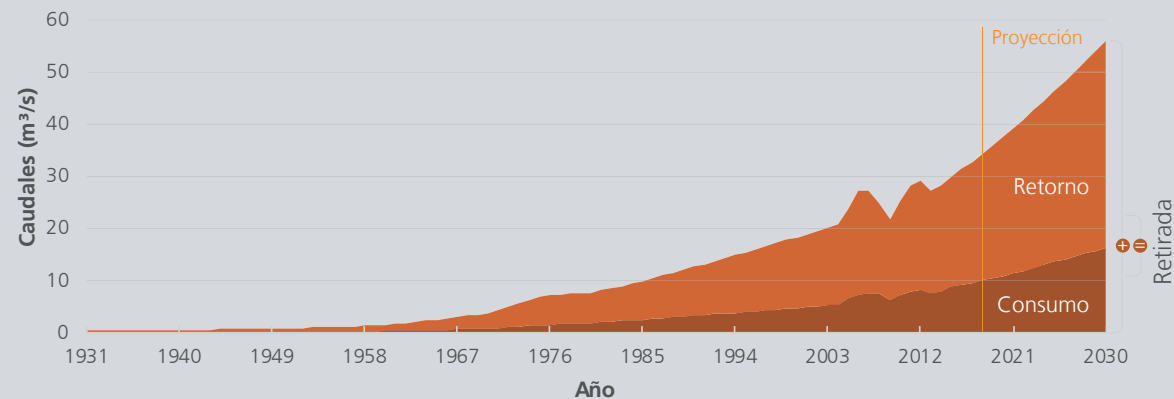


Figura 29 - Series de Caudales 1931 hasta 2030 - Industria Extractiva Mineral



Caudales de Retirada por Municipio (m³/s)

0,000001 - 0,2	1,4 - 3,4	5,4 - 15,7
0,2 - 1,4	3,4 - 5,4	sin demanda



Mayores Caudales Retirados (m³/s) por Municipio (2017) - Minería			
Ranking	UF	Municipio	Caudal Retirado (m³/s)
1º	PA	Parauapebas	7,244
2º	MG	Mariana	2,967
3º	MG	Nova Lima	2,448
4º	MG	Congonhas	1,959
5º	MG	Itabira	1,813
6º	MG	Itabirito	1,562
7º	MG	São Gonçalo do Rio Abaixo	1,438
8º	MG	Ouro Preto	1,266
9º	SC	Treviso	0,937
10º	MG	Brumadinho	0,775

En los valores de los flujos de retirada para la minería se destacan los municipios de Parauapebas (PA), Mariana (MG) y Nova Lima (MG). Otros municipios de Minas Gerais tienen una retirada media de más de 1 m³/s. Treviso, en Santa Catarina, se destaca por su producción de carbón mineral. Para el año 2030 se proyecta un aumento importante de los caudales de retirada, en línea con las perspectivas expresadas en el Plan Nacional de Minería.

Los resultados detallados de las series históricas de usos consuntivos, para todos los municipios, pueden consultarse en [www.snirh.gov.br/usos-da-agua](http://www.snirh.gov.br/usos-da-agua)



## 6 AGRICULTURA DE RIEGO

Pivote central en operación en la región del Alto Río Paranapanema (SP)  
Raylton Alves / Banco de Imágenes ANA

### 6.1 Introducción

El riego corresponde a la práctica agrícola que utiliza un conjunto de equipos y técnicas para suplir la falta total o parcial de agua para las plantas.

La agricultura de riego es el mayor uso de agua en Brasil y en el mundo. La intensificación de la actividad en nuestro país se inició en las décadas de 1970 y 1980 y se debe a algunos factores clave, en particular, la expansión de la agricultura a regiones con un clima desfavorable; los incentivos gubernamentales para el desarrollo regional; y los beneficios observados en la práctica con una buena disponibilidad de financiación. La mayor parte de la superficie regada actual es privada (97%) y la actividad está dispersa por todo el territorio.

Dada la importancia de la agricultura de riego en la planificación y gestión de los recursos hídricos, ANA ha invertido en los últimos años en la consolidación de una nueva base técnica, cuyos principales resultados se han publicado en el *Atlas Irrigación: uso del agua en la agricultura de riego* (ANA, 2017). Este documento, disponible en <http://atlasirrigacao.ana.gov.br>, presenta más detalles sobre la situación y el pronóstico de las áreas de riego.

Este capítulo presenta una descripción detallada de la metodología y las variables explicativas utilizadas para generar las series mensuales de riego en el período analizado (1931-2030), así como un resumen de los principales resultados.

Dado el gran número de usos del agua para riego, la Figura 30 ilustra la variación de los caudales de retirada en las unidades federativas en 2017. Sobresale el estado de Rio Grande do Sul con el mayor flujo de retirada, con una importante participación del cultivo tradicional de arroz inundado. Minas Gerais y Bahía, que han diversificado el riego, con énfasis en los pivotes centrales para la producción de granos, también se destacan. La Figura 31 muestra la distribución regional de las demandas estimadas.



## 6.2 Método y Base de Datos

Existen varias técnicas para calcular la demanda de agua de la agricultura de riego, siendo la más común el uso de métodos indirectos basados en la demanda de agua del cultivo, en una determinada etapa de desarrollo y en un lugar determinado. De este modo, el método se basa en el balance hídrico de las zonas regadas, asignando al riego la fracción de agua que necesita el cultivo y que no es suministrada por fuentes naturales (lluvia y suelo). La Figura 32 muestra una representación esquemática de los principales procesos relacionados con el riego y a la estimación de demandas.

Este tipo de estimación simplifica los procesos que ocurren en la interfaz entre la agricultura y el ciclo hidrológico, requiriendo tres grupos de información: **clima, cultivos y sistemas de riego**.

Los **datos climáticos** informan cuál es el suministro potencial de agua de lluvia para las plantas y cuál es la evapotranspiración potencial de referencia para una región. La evapotranspiración abarca tanto la evaporación de la superficie del suelo y la vegetación como la transpiración de las plantas.

Cada **cultivo** requiere una cantidad de agua, y en cada etapa de desarrollo del mismo cultivo esta cantidad también varía. Esta información se agrega para calcular la evapotranspiración real del cultivo, es decir, el suministro necesario para sus procesos fisiológicos en ese clima específico.

El **clima y el cultivo**, junto con la información del **suelo**, ayudan a estimar la disponibilidad de agua en el suelo y la precipitación efectiva (agua de lluvia que la planta puede utilizar eficazmente). El riego tiene como objetivo complementar lo que la planta necesita, es decir, complementar lo que se obtiene de otras fuentes (suelo y lluvia).

Finalmente, es necesario conocer la **eficiencia del sistema de riego** adoptado para poder estimar las pérdidas

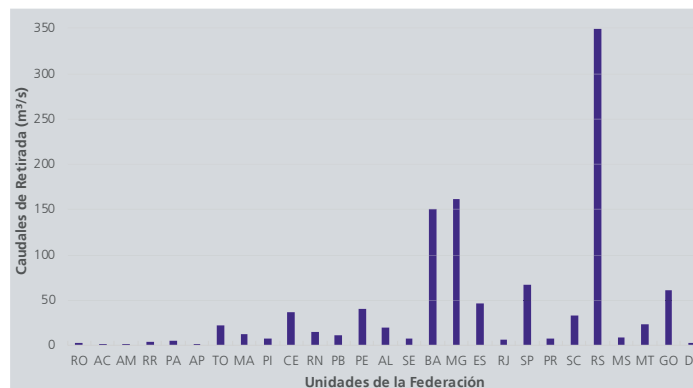


Figura 30 - Caudales de Retirada (m³/s) para Riego en las UF



Figura 31 - Porcentajes de Retirada para Riego en Relación con la Retirada Total en Cada Región

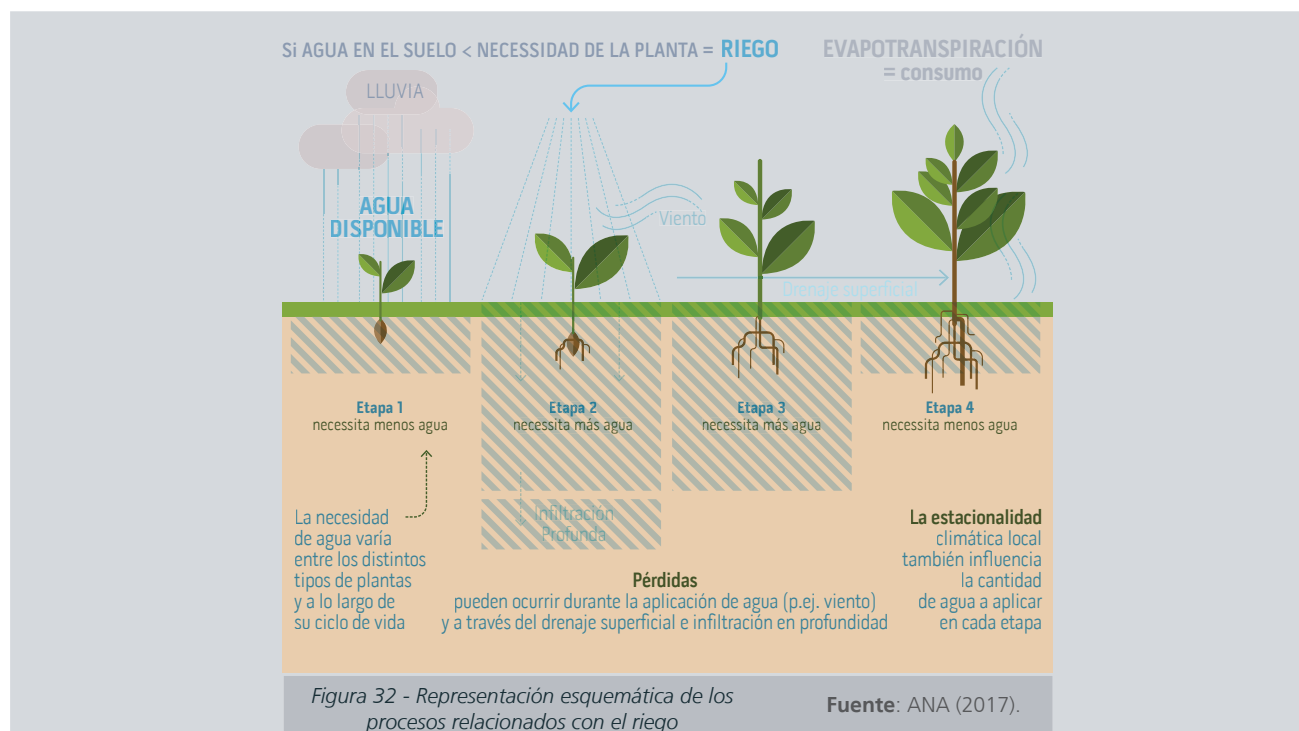


Figura 32 - Representación esquemática de los procesos relacionados con el riego

Fuente: ANA (2017).



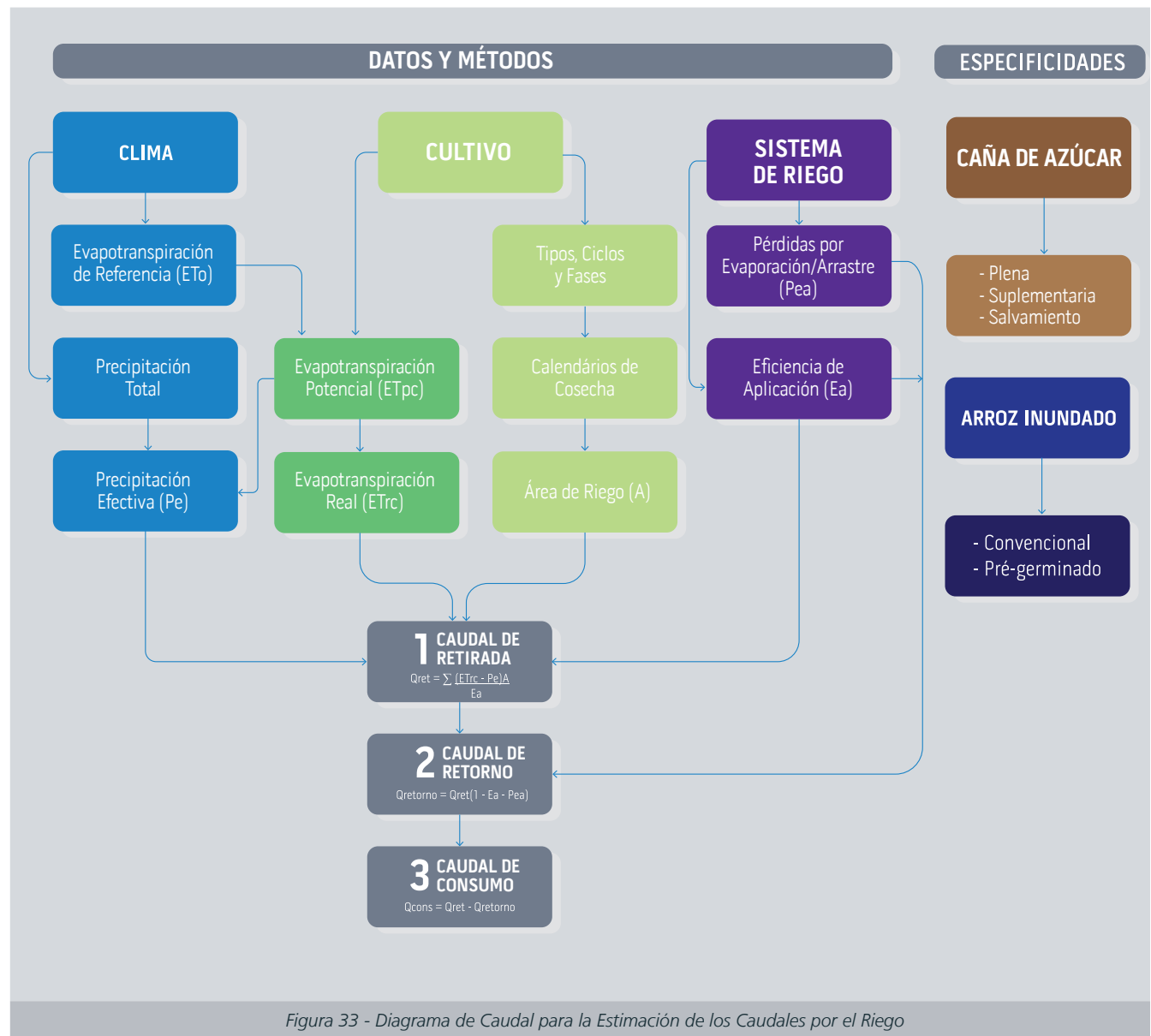
que se producen entre el volumen de agua captada y el volumen de agua utilizado por la planta.

Además del método general utilizado para todos los cultivos, se propusieron adaptaciones a la metodología para estimar el uso de arroz cultivado bajo inundación y caña de azúcar, como se discutió en el Atlas de Riego (ANA, 2017), permitiendo una mejor caracterización de las demandas en los dos cultivos con mayor área de riego en el país.

El diagrama de flujo (Figura 33) detalla los pasos para estimar los caudales asociados con el riego, los cuales serán detallados en lo que sigue.

El método general requiere información sobre el cultivo y el clima para obtener la evapotranspiración real y la precipitación efectiva. Las características de los cultivos también incluyen las áreas de riego y los tipos de cultivos y calendarios en los municipios. Los sistemas de riego, por su parte, permiten estimar la eficiencia del uso del agua y, por tanto, las parcelas de pérdida (agua extraída no utilizada por las plantas), así como las pérdidas por evaporación y arrastre que no retornan directamente a los cuerpos hídricos.

La estimación del volumen mensual de retirada destinado al riego en un municipio para un cultivo, en función de una fecha de cultivo determinada, se obtiene mediante la ecuación 16. Después de la estimación del volumen destinado a un cultivo (c) en un mes determinado (m) relativo a una fecha de cosecha (fc) en el municipio (mu) es necesario añadir los volúmenes destinados al riego en el mes para todas las fechas de cultivo de la cosecha por la Ecuación 17. El volumen de retorno de riego en el municipio se obtendrá a partir de la eficiencia en el uso del agua y las pérdidas por evaporación y arrastre durante la aplicación en los sistemas de aspersión, de acuerdo con la Ecuación 18. El volumen de consumo mensual de un cultivo dado se obtiene por la diferencia entre la retirada y el rendimiento (Ecuación 19). La demanda municipal se obtiene por la suma de los volúmenes destinados a cada cultivo.



**Ecuación 16**

$$V_{c,m,\mu,dc} = \frac{(ET_{rc,c,m,\mu,dc} - P_{ef,c,m,\mu,dc}) \cdot A_{c,m,\mu,dc} \cdot t_{c,m,dc}}{Ea_{c,\mu}} \quad 86400$$

**En que:**

- $V_{c,m,\mu,dc}$  = volumen mensual (m) destinado al riego de un cultivo (c) y relativo a una fecha de cultivo (dc) en un municipio (mu), m<sup>3</sup>;
- $ET_{rc,c,m,\mu,dc}$  = evapotranspiración real para el cultivo (c), en el mes (m), el municipio (mu) y para una fecha de cultivo (dc), mm d<sup>-1</sup>;
- $P_{ef,c,m,\mu,dc}$  = precipitación real para el cultivo (c), en el mes (m), el municipio (mu) y para una fecha de cultivo (dc), mm d<sup>-1</sup>;
- $Ea_{c,\mu}$  = eficiencia del riego para el cultivo (c) en la región donde se encuentra el municipio (mu), sin dimensiones;
- $A_{c,m,\mu,dc}$  = superficie mensual regada de un determinado cultivo (c) en el municipio (mu) en relación con una fecha de cultivo, ha; y
- $t_{c,m,dc}$  = duración del ciclo de cultivo (c) en el mes considerado (m) y correspondiente a una fecha específica de cultivo (dc), días.

**Ecuación 17**

$$V_{c,m,\mu} = V_{c,m,\mu,dc1} + V_{c,m,\mu,dc2} + \dots + V_{c,m,\mu,dcn}$$

**En que:**

- $V_{c,m,\mu}$  = volumen destinado al riego de un cultivo (c) en un mes determinado (m) para el municipio (mu) en cuestión, m<sup>3</sup>;
- $V_{c,m,\mu,dc1}$  = volumen mensual utilizado para el riego de un cultivo relacionado con una fecha de cultivo 1 para el municipio en cuestión, m<sup>3</sup>;
- $V_{c,m,\mu,dc2}$  = volumen mensual destinado al riego de un cultivo relacionado con una fecha de cultivo 2 para el municipio en cuestión, m<sup>3</sup>; y
- $V_{c,m,\mu,dcn}$  = volumen mensual destinado al riego de un cultivo relacionado con una fecha de cultivo "n" para el municipio en cuestión, m<sup>3</sup>.

**Ecuación 18**

$$V_{r,m,\mu} = V_{c,m,\mu} - (V_{c,m,\mu} \cdot Pea_{s,c,\mu}) - (V_{c,m,\mu} \cdot Ea_{c,\mu})$$

**En que:**

- $V_{r,m,\mu}$  = volumen de retorno del riego para un cultivo (c) en un mes (m) para el municipio (mu) bajo análisis, m<sup>3</sup>;
- $V_{c,m,\mu}$  = volumen destinado al riego de un cultivo (c) en un mes determinado (m) para el municipio (mu) en cuestión, m<sup>3</sup>;
- $Pea_{s,c,\mu}$  = pérdida por evaporación/arrastre del sistema de riego predominante del cultivo en el municipio, sin dimensiones; y
- $Ea_{c,\mu}$  = eficiencia del riego para el cultivo (c) en la región donde se encuentra el municipio (mu), sin dimensiones;

**Ecuación 19**

$$V_{cons,m,\mu} = V_{c,m,\mu} - V_{r,m,\mu}$$

**En que:**

- $V_{cons,m,\mu}$  = volumen de consumo de riego de un cultivo (c) en un mes determinado (m) para el municipio (mu) en cuestión, m<sup>3</sup>;
- $V_{c,m,\mu}$  = volumen de extracción del riego de un cultivo (c) en un mes determinado (m) para el municipio (mu) en cuestión, m<sup>3</sup>;
- $V_{r,m,\mu}$  = volumen de retorno del riego para un cultivo (c) en un mes dado (m) para el municipio (mu) en análisis, m<sup>3</sup>

## 6.2.1 Precipitación Efectiva

Para determinar las series de precipitaciones promedias mensuales se utilizaron los datos de la red de estaciones de la Base de Datos de Informaciones Hidrológicas (Hidro/ANA).

Se utilizaron 10.083 estaciones con una disponibilidad de datos superior a 60 meses (cinco años) (Figura 34). Las series mensuales de la red de estaciones fueron interpoladas para una red cuadrada que abarcaba todo el territorio brasileño. Se realizó la interpolación teniendo en cuenta la disponibilidad de datos en la propia cuadrícula y en las estaciones cercanas, dando como resultado una serie de datos observados mensualmente interpolados. Posteriormente, esta serie mensual fue ampliada y/o cubierta para completar periodos sin datos o con deficiencias, entre 1931 y 2030, mediante la utilización de los valores promedios mensuales de la propia serie interpolada, con el fin de preservar las características locales de estacionalidad.

Para el cálculo del riego, la precipitación efectiva corresponde a la porción de la precipitación total efectivamente utilizada por el cultivo para satisfacer sus necesidades evapotranspirométricas. La precipitación efectiva se estima en función del almacenamiento de agua en

el suelo, de la evapotranspiración de los cultivos y de la precipitación, basado en un estudio realizado por el USDA (1970) (Ecuación 20).

El factor medio de almacenamiento de agua en el suelo (SF) se fijó en 1,0, lo que corresponde a un valor promedio de almacenamiento de 75 mm. Como se discutió en MMA (Brasil, 2011), las variaciones del orden del 30% en el almacenamiento, lo que cubre la mayoría de los suelos bajo riego, implicarían correcciones en la precipitación de menos del 7%, lo que es potencialmente menor que los errores englobados en la suma de los valores mensuales, sus extrapolaciones y las interpolaciones de estos.

**Ecuación 20**

$$P_e = SF (0,70917 P_t^{0,82416} - 0,11556) \cdot (10^{0,02426 ET_c})$$

**En que:**

- $P_e$  = precipitación efectiva promedio mensual, mm;
- $P_t$  = precipitación mensual promedio total, mm;
- $ET_c$  = evapotranspiración PROmedio mensual del cultivo, mm; y
- SF = factor de almacenamiento del agua en el suelo (= 1).

## 6.2.2 Evapotranspiración

Para determinar la evapotranspiración real del cultivo, el método requiere cálculos de la evapotranspiración de referencia (o potencial) y la evapotranspiración potencial del cultivo.

La evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) es la cantidad de agua que se utiliza en una superficie del suelo totalmente cubierta con césped en crecimiento activo (altura entre 8 y 15 cm) y sin restricción hídrica. La estimación de ET<sub>o</sub> se obtuvo por el método Penman-Monteith-FAO, de acuerdo con la Ecuación 21, descrita en Allen *et al.* (1998).

Las variables climatológicas se obtuvieron a partir de la red de estaciones convencionales y automáticas del Instituto Nacional de Meteorología (INMET). Para ello se seleccionaron 524 estaciones meteorológicas (261 automáticas) (Figura 35). Las series mensuales de la red de estaciones se interpolaron para una red cuadrada de 50 x 50 km que comprendía todo el territorio brasileño. Posteriormente, esta serie mensual fue ampliada y/o completada para finalizar el período comprendido entre 1931 y 2030, utilizando

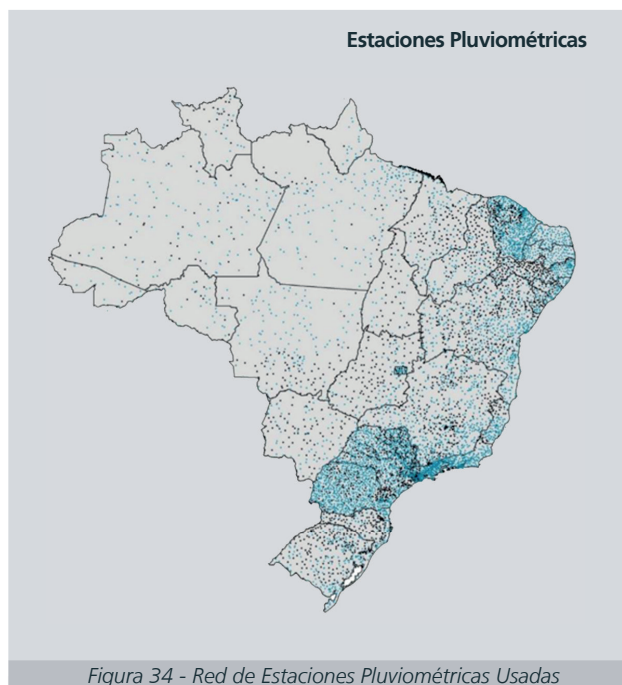


Figura 34 - Red de Estaciones Pluviométricas Usadas

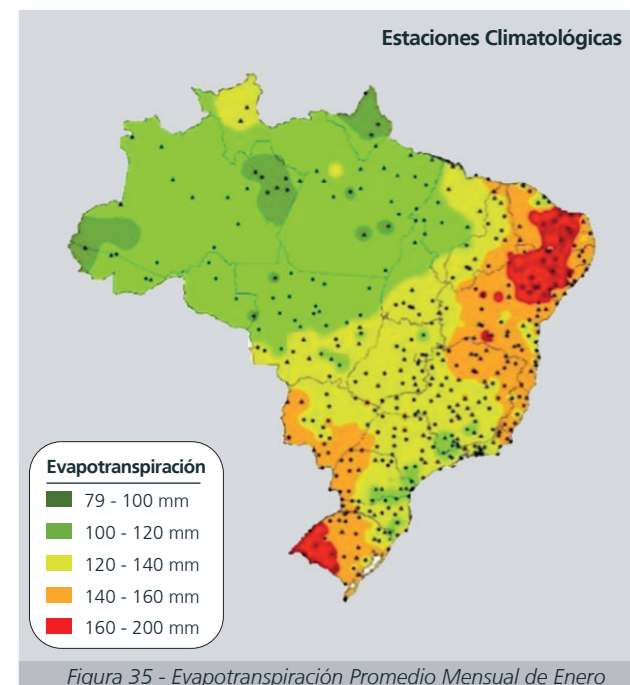


Figura 35 - Evapotranspiración Promedio Mensual de Enero

### Ecuación 21

$$ET_o = \frac{0,480 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

#### En que:

- ET<sub>o</sub> = evapotranspiración de referencia, mm d<sup>-1</sup>;
- R<sub>n</sub> = radiación líquida en la superficie de cultivo, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;
- G = densidad del flujo de calor del suelo, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>;
- T = temperatura promedio diaria del aire a 2 m de altura, °C;
- U<sub>2</sub> = velocidad del viento a 2 m de altura, m s<sup>-1</sup>;
- e<sub>s</sub> = presión de vapor de saturación, kPa;
- e<sub>a</sub> = presión actual de vapor, kPa;
- (e<sub>s</sub> - e<sub>a</sub>) = déficit de presión de vapor de saturación, kPa;
- Δ = inclinación de la curva de presión de vapor, kPa °C<sup>-1</sup>; y
- γ = constante psicrométrica, kPa °C<sup>-1</sup>.

### Ecuación 22

$$ET_{pc} = ET_o K_c$$

#### En que:

- ET<sub>pc</sub> = evapotranspiración potencial del cultivo, mm d<sup>-1</sup>; e
- K<sub>c</sub> = coeficientes de cultivo para una determinada fase de desarrollo, sin dimensiones.
- ET<sub>o</sub> = evapotranspiración potencial de referencia, mm d<sup>-1</sup>;
- ET<sub>rc</sub> = evapotranspiración real del cultivo, mm d<sup>-1</sup>; e
- K<sub>s</sub> = el coeficiente de humedad del suelo, sin dimensiones.

### Ecuación 23

$$ET_{rc} = ET_{pc} K_s$$

### Ecuaciones 24

$$K_s = \left( 1 + \frac{\log (LAA+1)}{\log (CTA+1)} \right) / 2$$

$$CTA = CAD \cdot Z$$

$$LAA = CTA \cdot f$$

#### En que:

- LAA = lámina de agua actual, mm;
- CTA = capacidad total de almacenamiento, mm;
- CAD = capacidad de agua disponible, %;
- Z = profundidad efectiva del sistema radicular del cultivo; y
- f = factor de disponibilidad de agua cuando aún no hay estrés hídrico, sin dimensiones



los valores mensuales promedios de la propia serie interpolada con el fin de preservar las características estacionales locales.

La Figura 35 también muestra los valores promedio mensuales de la evapotranspiración en Brasil en el mes de enero, ilustrando la representatividad de la red de estaciones. La incorporación de estaciones automáticas es una importante ganancia de calidad en relación con estudios anteriores, ya que hubo una mayor carencia de estas medidas en varios polos de riego, lo que requirió el uso de datos de estaciones convencionales remotas.

La evapotranspiración potencial del cultivo (ET<sub>pc</sub>) consiste en la evapotranspiración de un cultivo en condiciones óptimas de humedad y nutrientes en el suelo, de forma que se permita la producción potencial de este cultivo en condiciones de campo. El ET<sub>pc</sub> depende de la ET<sub>o</sub> y de los valores de los coeficientes de cultivo de las diferentes etapas de desarrollo de cada cultivo, que están disponibles en Allen et al. (1998). El ET<sub>pc</sub> se obtiene mediante la Ecuación 22.

A partir de las fases de desarrollo del cultivo es posible determinar la curva que representa los cambios en el K<sub>c</sub> a lo largo del ciclo de cultivo. El Boletín FAO 56 (Allen et al., 1998) detalla la división de los ciclos de desarrollo de los cultivos (fases inicial, de desarrollo vegetativo, intermedia y final) y los valores de referencia adoptados en esta estimación de la demanda.

La duración del ciclo de los cultivos (número de días en cada fase) depende de varios factores, como la temporada de siembra, la variedad de los cultivos y las condiciones del suelo y el clima. En ese sentido, los valores de referencia disponibles en el Boletín FAO 56 fueron adaptados a las condiciones brasileñas a través del análisis de los principales meses de siembra y cosecha de cultivos temporales, datos disponibles en el Censo Agropecuario de 2006 (IBGE, 2009). En el caso de los

cultivos permanentes, la estimación de las duraciones de las fases de los cultivos no fue necesaria, ya que se utilizó el K<sub>c</sub> medio para todo el ciclo del cultivo.

La evapotranspiración real del cultivo (ET<sub>rc</sub>) es la cantidad de agua evapotranspirada por un cultivo determinado en condiciones normales de crecimiento. La ET<sub>rc</sub> está condicionada, además de por los elementos meteorológicos, por el porcentaje de cobertura del suelo, el tipo de cultivo y la disponibilidad de agua en el suelo, y se calcula a partir de la evapotranspiración potencial (ET<sub>pc</sub>) y el coeficiente de humedad del suelo (K<sub>s</sub>) (Ecuaciones 23 y 24).

Las K<sub>s</sub> consideradas corresponden al promedio entre el momento en que el suelo está cerca de la capacidad de campo y el límite de agotamiento de agua (Ecuación 24), requiriendo información sobre la lámina de agua actual (LAA) y la capacidad total de almacenamiento (CTA). La determinación de estos valores, a su vez, depende del factor de disponibilidad de agua cuando no hay estrés hídrico (f), la profundidad efectiva del sistema radicular del cultivo (Z) y la capacidad de agua disponible (CAD).

El factor de disponibilidad o coeficiente de agotamiento (f) representa el límite porcentual de agua disponible en el suelo para que el cultivo no sufra una reducción significativa de su tasa máxima de evapotranspiración. El valor depende del cultivo y de las condiciones climáticas, y se adoptan los valores de referencia del Boletín de la FAO 56.

Los valores de profundidad del sistema radicular (Z) también se obtuvieron del Boletín FAO 56.

La capacidad efectiva de almacenamiento de agua en el suelo (CAD) se obtiene a partir de la estimación de la capacidad de campo y del punto de marchitamiento permanente, utilizando funciones de pedo-transferencia, que son ecuaciones que permiten estimar la capacidad de retención de agua en base a características del suelo como la textura, la densidad global y el contenido de materia orgánica (Rossato, 2001; Rossato et al., 2004;

Tomassela et al., 2000). Las ecuaciones de pedo-transferencia se obtuvieron a partir de los contactos realizados con el equipo del Centro Nacional de Monitoreo y Alerta de Desastres Naturales (CEMADEN), y también se adoptaron los mapas de suelos desarrollados en el marco del proyecto RADAMBRASIL.

### 6.2.3 Áreas de Riego y Cultivos

El área de riego es información clave para determinar el uso del agua por el riego. Las series municipales anuales de áreas equipadas se basaron en los Censos Agropecuarios realizados por el IBGE en 1960, 1970, 1975, 1980, 1985, 1996 y 2006 (IBGE, 2006; 2009).

Los datos más recientes fueron publicados por ANA (2017) en el Atlas de Riego, referidos al año 2015 (Figura 36) y proyecciones para 2030. Esta publicación detalla la historia del desarrollo de la agricultura de riego y los métodos y bases de datos asociados con el reciente estudio de las zonas de riego. La Figura 36 presenta una visión general actual de las áreas de riego, con un total de 6,95 millones de hectáreas.

Los años sin información municipal se completaron con interpolación lineal del área entre años con registro. Para la regresión de áreas de 1960 a 1931, se adoptaron las tasas observadas entre 1960 y 1970, o entre 1960 y 1975, según la disponibilidad de datos en el municipio.

A la superficie equipada de cada municipio se le aplica un coeficiente de transformación de la superficie equipada en superficie cosechada, que depende de la composición municipal de los cultivos y de las características del número promedio de cosechas. Este coeficiente se estimó utilizando la proporción de cultivos (temporales y permanentes) en el municipio.

Además de las áreas de riego, el método de estimación requiere información sobre los cultivos presentes en el

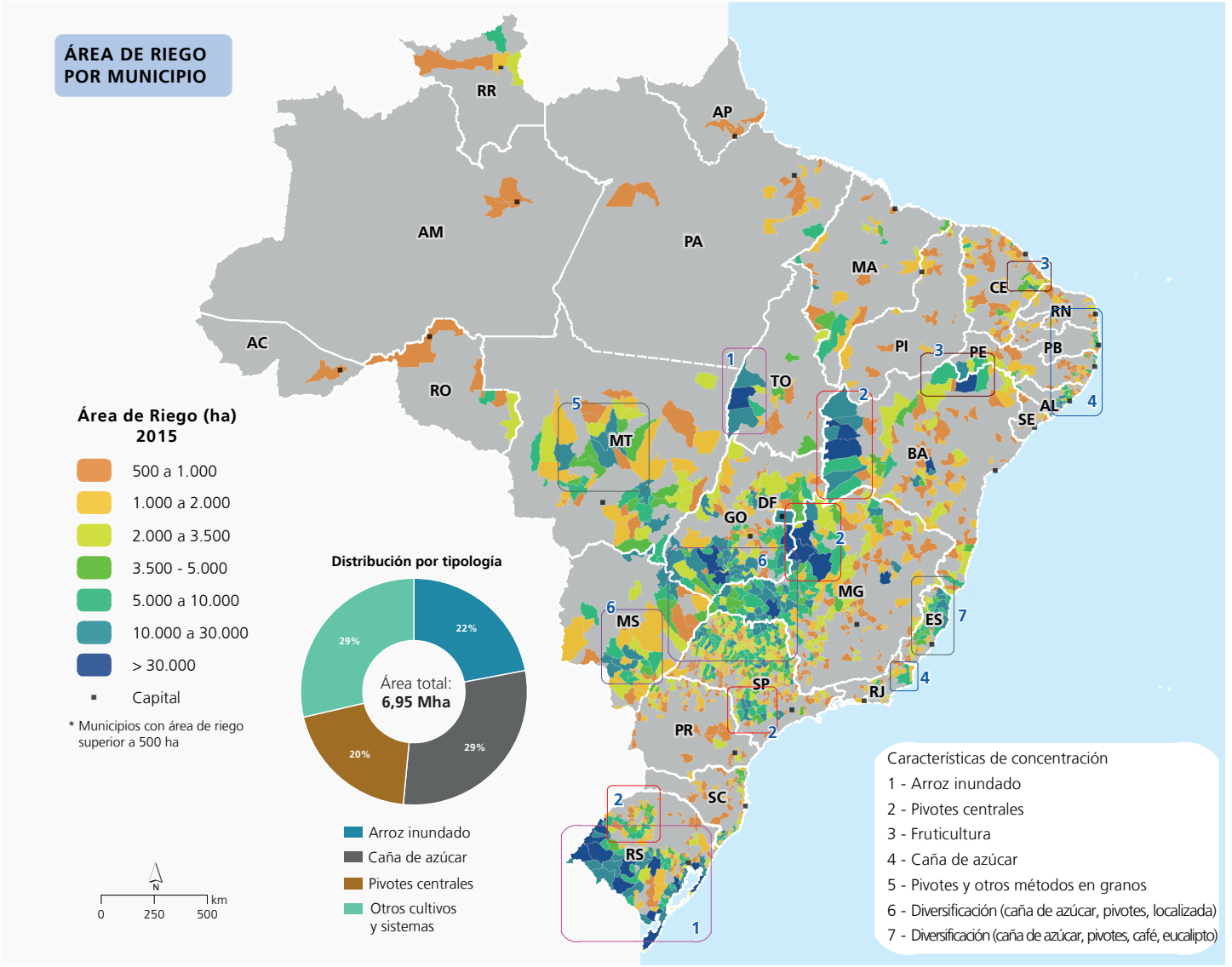


Figura 36 - Área actual equipada para riego por municipio (2015)

Fuente: Atlas Riego (ANA, 2017).

municipio y su calendario de cosecha - informaciones que se suponen constantes en el horizonte de cálculo.

El porcentaje de cada cultivo en el municipio se obtuvo a partir del Censo Agropecuario de 2006 (IBGE, 2009) y de estudios más recientes: para la caña de azúcar y el arroz inundado (ANA, 2017); para alrededor de 900 municipios en cuencas críticas (ANA, 2016); y para el estudio histórico del arroz inundado (Embrapa, 2017).

Los calendarios de cultivo determinan qué meses y en qué proporción se produce la cosecha de un determinado cultivo en el municipio. Estos datos se obtuvieron inicialmente a partir del Censo Agropecuario de 2006, a los que se sumaron datos de la Compañía Nacional de Abastecimiento - CONAB - para los principales cultivos de riego (arroz, frijol, maíz, algodón y soja).

Es importante señalar que hay muchas desidentificaciones en los datos censales municipales (superficie total equipada y superficie cosechada por cultivo), generalmente debido al bajo número de informantes (menos de tres). Cuando no se identificaron, los datos se completaron calculando el número de no identificaciones (x) y la diferencia entre el área total identificada (sin desidentificaciones) y el área total obtenida (Ecuación 25). De este modo, por ejemplo, si la suma de las áreas cosechadas

de los cultivos identificados en un municipio es de 8 mil hectáreas; el área total (sin distinción de cultivos) es de 10 mil hectáreas; y hay dos cultivos sin datos (desidentificaciones), el saldo de 2 mil hectáreas se distribuye equitativamente (llenado de 1 mil hectáreas por cada).

### 6.2.4 Sistemas de Riego

Los sistemas de riego determinan el potencial de eficiencia en el uso del agua y, por lo tanto, las parcelas de pérdida (agua extraída no utilizada por las plantas). Las pérdidas pueden producirse por filtraciones en la distribución y almacenamiento, evaporación, deriva o arrastre del viento, escorrentía y percolación profunda. Las pérdidas no necesariamente se traducen en un desperdicio de agua, pues no existe ningún equipo que garantice una eficiencia del 100% y no es posible controlar con precisión todas las variables en condiciones de campo (como el viento). Los indicadores de eficiencia en el uso del agua por tipo de sistema se presentan en el Atlas Riego (ANA, 2017).

En base al Censo Agropecuario del IBGE 2006, para cada cultivo en cada municipio se asoció un sistema de riego preponderante, adoptando los valores de referencia presentados en la Tabla 8. En ausencia de valores municipales, el sistema predominante se adopta en la respectiva mesoregión geográfica.

Asimismo, en los métodos de aspersión se considera que parte de las pérdidas por evaporación/arrastre no retornan al cuerpo de agua, y estos valores de consumo se estiman en un 8,0% de la retirada en los pivotes centrales y en un 12,6% en otros métodos de aspersión, de acuerdo con ANA (2004). En los otros sistemas, no se consideran las pérdidas por evaporación/arrastre, con la excepción del arroz inundado, cuya metodología se abordará a continuación.

El flujo de retorno del riego en el municipio se obtendrá en función de la eficiencia del uso del agua y de las pérdidas por evaporación y arrastre durante la aplicación en los sistemas de riego por aspersión. Estas pérdidas se incorporan al consumo, ya que no son consumidas por la evapotranspiración de los cultivos y tampoco retornan directamente a los cuerpos de agua.

Tabla 8 - Eficiencia de Aplicación de los Sistemas de Riego

Sistema de riego	Eficiencia (%)	Pérdida evaporación/arrastre (%)
Inundación	60	-
Ranuras	75	0
Aspersión (pivote central)	85	8
Aspersión (otros métodos)	80	12,6
Localizado (goteo, microaspersión, etc.)	90	0
Otros métodos de riego y/o humidificación	60	0

### 6.2.5 Caña de azúcar y arroz inundado

El método general detallado anteriormente se utiliza para todos los cultivos, excepto para la caña de azúcar y el arroz inundado, que tienen características especiales de gestión del uso del agua que no están adecuadamente representadas en el método general. De esta manera, se pudo avanzar significativamente en la caracterización de las demandas de los dos cultivos con mayor superficie de riego del país. La Figura 37 muestra la distribución del área de riego de estas tipologías en los municipios y unidades federales.

#### Ecuación 25

$$A_x = \frac{A_{\text{tot}} - \sum A_{\text{identif}}}{n}$$

#### En que:

- $A_x$  = área estimada para cada desidentificación, ha;  
 $A_{\text{tot}}$  = área total, ha;  
 $A_{\text{identif}}$  = área total identificada, ha; y  
 $n$  = número de desidentificaciones.



### 6.2.5.1 Riego de la Caña de Azúcar

Considerando las áreas de fertirrigación y rescate, la caña de azúcar es el cultivo con mayor área irrigada de Brasil. Al mismo tiempo, presenta peculiaridades que dificultan la identificación de áreas de riego y la estimación del uso del agua, tales como: la aplicación a gran escala de bajas láminas de agua; la alta reutilización del agua de los procesos industriales de producción de etanol; y la gran movilidad y variedad de los equipos utilizados (ANA, 2017).

Estas características difieren de la mayoría de los otros cultivos y caracterizan a la caña de azúcar como un consumidor bajo de agua por unidad de área, pero de gran relevancia debido a la gran extensión en la que ocurre, lo que puede alterar el balance hídrico a escala local y regional. Por lo tanto, el método general descrito anteriormente sobreestimaría el agua aplicada a las plantaciones de caña de azúcar al considerar que toda la demanda hídrica de la caña de azúcar se complementaría con el riego, lo que no es el caso en la mayoría de las áreas de riego.

De esta forma, se adoptaron tres formas de gestión de cultivos, con estimaciones diferentes: riego completo, riego complementario y riego de salvamento, siendo este último el predominante. Este perfeccionamiento fue posible gracias al Estudio de la Caña de Azúcar de Riego en la Región Centro Sur de Brasil (*Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada na Região Centro-Sul do Brasil*, ANA, 2017), que, a partir de las geotecnologías y el trabajo de campo, trajo consigo un nuevo panorama de las áreas de riego de las más variadas tipologías.

El riego completo consiste en la aplicación de la lámina de agua para abastecer el déficit hídrico total del cultivo, según lo calculado para los otros cultivos (método general). Sin embargo, en el décimo mes del ciclo de cultivo, el riego debe suspenderse para favorecer la madura-

ción, lo que significa un decremento en el uso del agua (Scarpate et al., 2015). Las láminas máximas también se definieron por municipio, en base a las condiciones climáticas promedio, con el objeto de limitar la aplicación de agua a las condiciones de dimensionamiento de los equipos para el riego completo.

El riego complementario consiste en compensar parcialmente la escasez hídrica. La productividad tiende a ser menor, pero hay un aumento en la eficiencia de la aplicación y una reducción en los costos de operación. Además de prever el corte del riego en el décimo mes del ciclo, el método considera que hasta el 50% de la deficiencia hídrica, en condiciones climáticas promedio, puede ser suplida por el riego, limitando la aplicación del agua a las condiciones de dimensionamiento de los equipos de riego complementario.

El riego de rescate, que actualmente representa más del 90% de la superficie regada de caña de azúcar, consiste en la aplicación de agua en un período de tiempo relativamente corto o en una fase del cultivo. El rescate se realiza con un carrete (*hydro roll*) o con un pivote remolcable, normalmente con cuchillas de 60 a 80 mm después de cada corte anual de caña (Pereira et al., 2015), favoreciendo su recuperación, productividad y longevidad. Así, el método considera la aplicación de 80 mm de agua distribuidos en los tres meses inmediatamente posteriores al corte de la caña de azúcar (cosecha), asegurando la germinación en épocas secas.

Se sabe que el rescate hace uso a gran escala de la vinaza y otros subproductos del proceso industrial de producción de etanol. Estos efluentes pueden ser aplicados puros o diluidos en agua captada directamente de los cuerpos hídricos. En consecuencia, parte de la demanda estimada de consumo de caña de azúcar se refiere a la reutilización de procesos industriales. ANA está llevando a cabo evaluaciones más exhaustivas para estimar las proporciones de agua efectivamente capturada y de agua para reutilización.



Áreas de caña de azúcar en Mesópolis (SP)  
Raylton Alves / Banco de Imágenes ANA

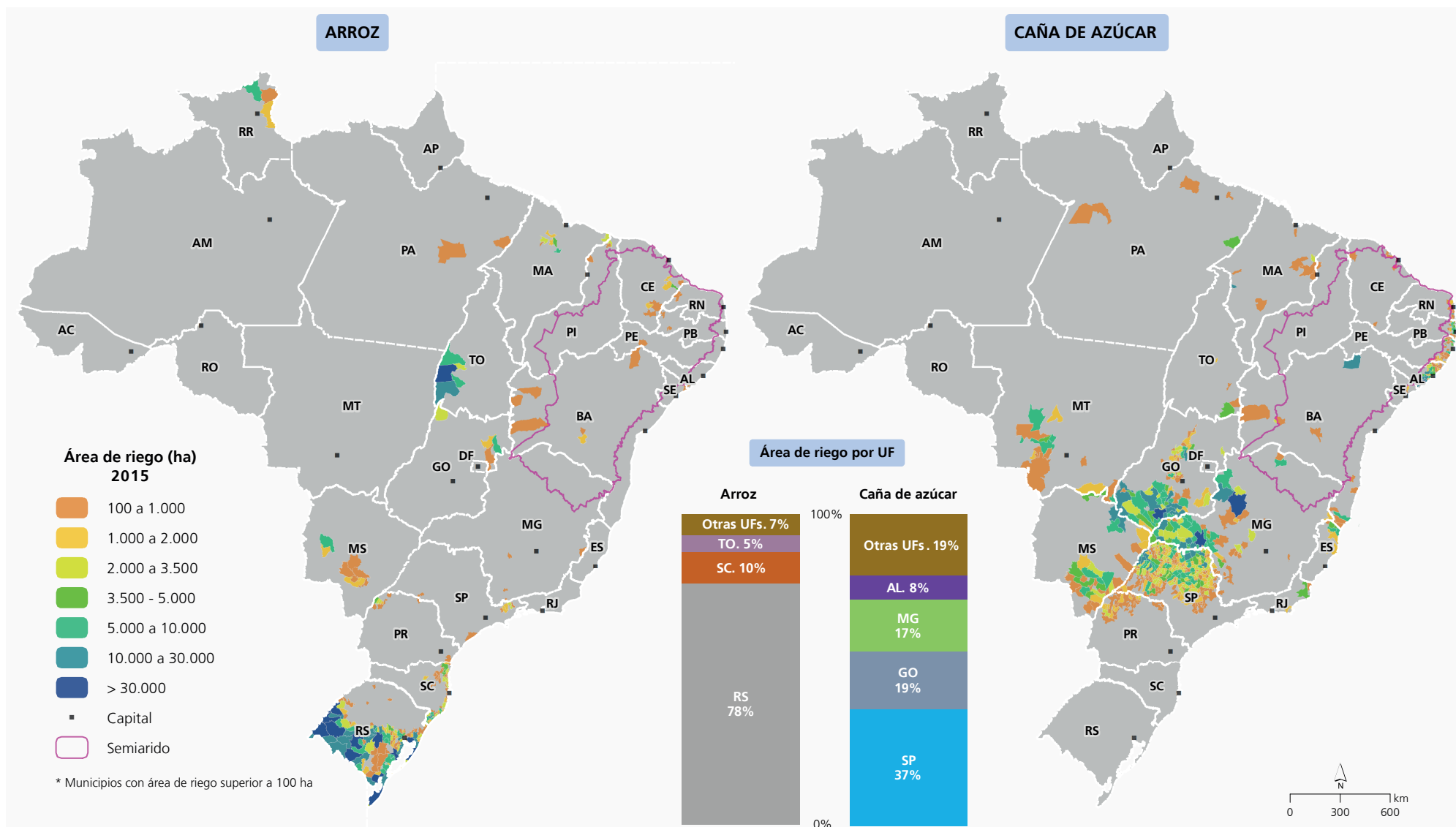


Figura 37 - Área actual equipada para riego por municipio – arroz y caña de azúcar

Fonte: Atlas Riego (ANA, 2017).

### 6.2.5.2 Riego del Arroz por Inundación

El arroz cultivado bajo inundación tiene la segunda mayor superficie de riego del país y es el que más agua consume.

La evaporación de la lámina de agua es un factor crítico a considerar en el cálculo, así como los diferentes tipos de manejo - agrupados en sistemas convencional y pre-germinado. En el primer caso, la siembra se realiza en suelo no inundado, y la inundación se inicia pocos días después de la irrupción de las plantas. En el sistema pre-germinado, el riego comienza antes de la siembra, durante los procedimientos finales de preparación del suelo. Después de esta etapa, la altura de la lámina de agua se eleva a un cierto nivel y así se mantiene hasta la siembra, que ocurre en suelos inundados.

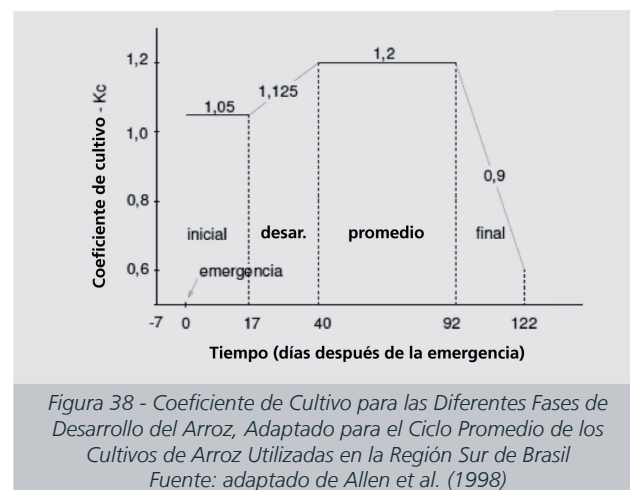
Las condiciones especiales en la dinámica del uso del agua en relación con otros cultivos requirieron una metodología de estimación específica, basada en el método desarrollado por Amaral et al. (2005). El cálculo se realizó en todos los municipios donde se identificó este tipo de riego, que se concentra en Río Grande do Sul, Santa Catarina y Tocantins (Figura 37).

La metodología desarrollada incluye dos sistemas de cultivo: el sistema convencional y el sistema pre-germinado, cuyos períodos y fórmulas de cálculo se resumen en las Tablas 9 y 10.

En este cultivo se consideran dos clases de consumo además del flujol de retirada (captado en los cuerpos de agua) y el caudal de retorno (agua que retorna a los manantiales): el consumo efectivo, que se refiere a lo que es consumido por el cultivo durante el periodo de riego; y el caudal de consumo, dado por la diferencia entre la retirada y el retorno en forma mensual.

La figura 38 muestra los coeficientes de cultivo en las

diferentes fases de desarrollo, así como la duración de cada fase. La duración media del ciclo de cultivo entre la emergencia y la maduración (cosecha) es de 122 días. Esta duración se definió con base en las características de los principales cultivares utilizados en los estados de Rio Grande do Sul y Santa Catarina (Tronchoni, 1995; SOSBAI, 2003; IRGA, 2005). Como el proceso de germinación de la semilla en el sistema pregerminado se acelera antes de la siembra, se consideró que la fecha de emergencia coincidía con la fecha de la siembra.



#### Sistema Convencional

Los períodos de riego y su duración fueron definidos por Amaral et al. (2005) utilizando información de Embrapa (2003), Sosbai (2003), Weber et al. (2003) y Gomes et al. (2004). La Tabla 9 presenta los períodos y los respectivos cálculos o valores adoptados (caudales unitarios y de retirada, consumo y retorno).

El caudal unitario/de retirada se considera nulo en el primer y último período (post-emergencia, vaciado de las mesetas y cosecha), en el que no se produce ninguna

retirada para riego.

En el período de llenado de las mesetas, el cdal unitario se calcula a partir de la consideración de que, en el momento del inicio de la inundación, el volumen de agua requerido para la saturación del perfil corresponde al volumen de los macroporos del suelo desde su superficie hasta la profundidad de la capa impermeable, según la Ecuación 26. En el período de demanda normal, se adopta una tasa de caudal unitario de 1,75 litros por segundo por hectárea (Sosbai, 2003).

El valor promedio de la macroporosidad del suelo utilizado fue de  $0,051 \text{ m}^3/\text{m}^3$  (basado en König (1983), Costa (1993), Vasconcellos (1995) y Machado y otros (1996)). La lámina de inundación fue de 0,10 m, definida en base a las recomendaciones técnicas y a las láminas que se utilizan habitualmente en los cultivos comerciales. La profundidad de la capa impermeable se definió como 1 metro.

El flujo extraído en estos períodos (llenado de las mesetas y demanda normal) se calculó de la misma manera, utilizando las ecuaciones 27 ó 28 (Tabla 9).

El consumo real en el sistema convencional, independientemente del período considerado, se calcula mediante la ecuación 29. En el período de post-emergencia se consideró  $K_s$  igual a 0,9, mientras que en los otros períodos se consideró  $K_s$  igual a 1,0.

El flujo de retorno se consideró nulo en los períodos de post-emergencia y de llenado de mesetas. En el período correspondiente a la demanda normal, el caudal de retorno fue la diferencia entre el caudal de retirada y el caudal consumido, y si el caudal consumido fuera mayor que el caudal de retirada, el caudal de retorno sería cero (Ecuación 30). En el vaciado de las mesetas se consideró la altura de la lámina de agua superficial, el período de vaciado, la precipitación y el caudal consumido, como se muestra en la Ecuación 31.



**Ecuación 26**

$$Q_{\text{unit}} = \frac{100[(uP_{\text{imp}}) + H_{\text{lam}}]}{T_{\text{ench}} 864} + \frac{(ET_0 K_c K_s)}{8.640}$$

**Ecuación 27**

$$Q_{\text{retir}} = \left[ Q_{\text{unit}} - \left( \frac{P}{8.640} \right) \right] A$$

**Ecuación 28**

$$Q_{\text{retir}} = 0$$

La Ecuación 27 se utiliza cuando  $\left( \frac{P}{8.640} \right) < Q_{\text{unit}}$  y la Ecuación 28 en las otras situaciones.

**Ecuación 29**

$$Q_{\text{cons}} = \left[ \frac{(ET_0 K_c K_s) 10}{86.400} \right] A$$

En el período de post-emergencia se ha considerado  $K_s$  igual a 0,9, mientras que en los otros períodos se consideró  $K_s$  igual a 1.0.

**Ecuación 30**

$$Q_{\text{retorno}} = Q_{\text{retirada}} - Q_{\text{consumo}}$$

se  $Q_{\text{retorno}} < 0$ , então  $Q_{\text{retorno}} = 0$

**Ecuación 31**

$$Q_{\text{retorno}} = \left( \frac{H_{\text{lam}} 1.000 A}{T_{\text{esvaz}} 86.400} + \frac{P 10}{86.400} A \right) - Q_{\text{cons}}$$

**Tabla 9 - Períodos para el cálculo de las necesidades de riego en arroz inundado - sistema convencional**

Periodo	Duración (días)	Caudal Unitaria (l/s/ha)	Caudal de Retirada	Consumo Efectivo	Caudal de Retorno
Post-emergencia	desde 1 hasta 24	0	0	0	0
Llenado de las mesetas	desde 25 hasta 29	Ecuación 26	Ecuación 27 o 28	Ecuación 29	
Demanda normal	desde 30 hasta 97	1,75			Ecuación 30
Vaciado de las mesetas	desde 98 hasta 109	0	0		Ecuación 31
Preparación para la cosecha	desde 110 hasta 122	0	0	0	0

**Tabla 10 - Períodos para el cálculo de las necesidades de riego en arroz inundado - sistema pre-germinado**

Periodo	Duración (días)	Caudal Unitaria	Caudal de Retirada	Consumo Efectivo	Caudal de Retorno
Llenado de las mesetas	desde -25 hasta -21	Ecuación 32	Ecuación 27 o 28	Ecuación 34	0
Pre-siembra	desde -20 hasta -1	1			Ecuación 30
Post-siembra	desde 1 hasta 3				
Retirada de la lámina de agua	desde 4 hasta 10	0	0		0
Reemplazo de la lámina de agua	desde 11 hasta 17	Ecuación 33	Ecuación 27 o 28	Ecuación 29	Ecuación 30
Demanda normal	desde 18 hasta 97	1			Ecuación 31
Vaciado de las mesetas	desde 98 hasta 109	0	0		
Preparación para la cosecha	desde 110 hasta 122	0	0	0	0

**Ecuación 32**

$$Q_{\text{unit}} = \frac{10.000[(uP_{\text{imp}}) + H_{\text{lam}}]}{T_{\text{ench}} 86.400} + \left( \frac{ET_0}{K_T} \frac{10}{86.400} \right)$$

**Ecuación 33**

$$Q_{\text{unit}} = \left( \frac{H_{\text{lam}} 10.000}{T_{\text{ench}} 86.400} \right) + \left( \frac{ET_0}{K_T} \frac{10}{86.400} \right)$$

**Ecuación 34**

$$Q_{\text{cons}} = \left( \frac{ET_0}{K_T} \frac{10}{86.400} \right) A$$

**Ecuaciones - Leyenda**

$Q_{\text{retir}}$	= caudal de retirada, $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ;
$Q_{\text{unit}}$	= caudal unitaria, $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{ha}^{-1}$ ;
$Q_{\text{retorno}}$	= caudal de retorno, $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{ha}^{-1}$ ;
$Q_{\text{cons}}$	= caudal de consumo efectivo, $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{ha}^{-1}$ ;
$A$	= área de riego, ha;
$u$	= macroporosidad media del suelo, $\text{m}^3\text{m}^{-3}$ ;
$P_{\text{imp}}$	= profundidad media de la capa impermeable, m;
$P$	= total precipitado, mm;
$H_{\text{lam}}$	= altura de la lámina de agua superficial, m;
$T_{\text{ench}}$	= duración del período de llenado de las mesetas, días;
$T_{\text{esvaz}}$	= duración del período de vaciado de las mesetas, días;
$ET_0$	= evapotranspiración potencial del cultivo, $\text{mm d}^{-1}$ ;
$K_c$	= coeficientes de cultivo para determinada fase de desarrollo, sin dimensiones;
$K_s$	= coeficiente de humedad del suelo, sin dimensiones; y
$K_t$	= coeficiente del tanque clase A, sin dimensiones.

### Sistema Pre-germinado

Los períodos de riego y su duración fueron definidos por Amaral et al. (2005) utilizando información contenida en Gomes y Pauletto (1999), Embrapa (2003), Sosbai (2003), Weber et al. (2003), Marchezan et al. (2004) y Petrini et al. (2004). La Tabla 10 presenta los períodos y los respectivos cálculos o valores adoptados para los caudales.

La inundación de las mesetas en el sistema pre-germinado comienza antes de la siembra, durante los procedimientos finales de preparación del suelo. Por lo tanto, incluso antes de que el cultivo se establezca, ya existe una considerable pérdida de agua a la atmósfera debido a la evaporación. Además, la evaporación es el proceso predominante al principio del cultivo de arroz, disminuyendo a medida que se desarrolla el cultivo y aumenta la cobertura del dosel.

El caudal de retirada en los períodos de llenado de las mesetas, pre-siembra, post-siembra, sustitución de la lámina de agua y la demanda normal se calcula utilizando la Ecuación 27 o 28. Durante los períodos de retirada de la lámina de agua y vaciado de las mesetas, el caudal de retirada se consideró cero.

Por otro lado, el cálculo del caudal unitario varía en estas fases, siendo determinado por la Ecuación 32 en el período de llenado de las mesetas y por la Ecuación 33 en el período de reemplazo de la lámina. Para los períodos de pre-siembra, post siembra y demanda normal, el caudal unitario se consideró igual a  $1,0 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ , de acuerdo con las recomendaciones de Sosbai (2003).

Como el proceso de evaporación del agua en las mesetas no cambia significativamente durante los primeros días después de la siembra, debido a que la transpira-

ción de las plantas y la cubierta del dosel son todavía pequeñas, el consumo efectivo de agua por parte del cultivo, en el período comprendido entre el inicio del llenado de las mesetas y el final de la sustitución de las láminas de agua, se estimó considerando sólo la ocurrencia de la evaporación, de acuerdo con la Ecuación 34 y adoptando  $K_t = 0,8$ .

Para la estimación de la evaporación se consideró que ésta es igual a la evaporación en el tanque de clase A, puesto que, según Gomes et al. (2004), la evaporación que se produce durante los primeros días del cultivo de arroz es similar a la que se obtiene en los tanques evaporadores.

En los períodos de demanda normal y vaciado de las mesetas se realizó la estimación del consumo efectivo considerando la evapotranspiración real del cultivo, según la Ecuación 29.

El caudal de retorno se consideró cero durante los períodos de llenado de las mesetas y de retirada de la lámina de agua. En los períodos correspondientes a la pre-siembra, post-siembra, reemplazo de la lámina de agua y demanda normal, el caudal de retorno fue la diferencia entre el caudal de retirada y el caudal consumido, y si el caudal consumido era mayor que el caudal de retirada, el caudal de retorno sería cero (Ecuación 30). En el vaciado de las mesetas se consideró la altura de la lámina de agua superficial, el período de vaciado, la precipitación y el caudal consumido, como lo muestra la Ecuación 31.

El cálculo del volumen mensual de retirada por la cosecha de arroz se realiza sumando todos los volúmenes extraídos para ese mes en el municipio analizado. Un razonamiento similar se utiliza para estimar el volumen mensual de retorno en un municipio. El volumen de consumo viene dado por la diferencia entre los volúmenes mensuales de retirada y retorno de un municipio determinado.

### 6.2.6 Caudal Total para el Riego

Finalmente, considerando los procedimientos de cálculo presentados anteriormente para todos los cultivos, así como las especificidades de la caña de azúcar y el arroz inundado, los caudales estimados para cada municipio (retirada, consumo y retorno) corresponden a la suma de los caudales estimados para cada cultivo (Ecuación 37).

#### Ecuación 37

$$Q_{\text{ret,mu}} = \frac{(V_{r1,m,mu} + V_{r2,m,mu} + \dots + V_{m,m,mu}) + V_{r,ca,m,mu} + V_{r,a,m,mu}}{t_{\text{mes}} \cdot 86400}$$

#### En que:

$Q_{\text{ret,mu}}$	=	caudal de <b>retirada</b> (ret) mensual (m) para riego en determinado municipio (mu), $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$ ;
$V_{r1,m,mu}$	=	volumen mensual (m) de retirada del cultivo 1 (r1) para el municipio (mu), $\text{m}^3$ ;
$V_{r2,m,mu}$	=	volumen mensual (m) de retirada del cultivo 2 (r2) para el municipio (mu), $\text{m}^3$ ;
$V_{m,m,mu}$	=	volumen mensual (m) de retirada del cultivo n (m) para el municipio (mu), $\text{m}^3$ ;
$V_{r,ca,m,mu}$	=	volumen mensual (m) de retirada (r) para la caña de azúcar (ca) para el municipio (mu), $\text{m}^3$ ;
$V_{r,a,m,mu}$	=	volumen mensual (m) de retirada (r) para el arroz inundado (a) para el municipio (mu), $\text{m}^3$ ;
$t_{\text{mes}}$	=	duração do mês em análise, dias.

Se utiliza un razonamiento análogo para determinar los caudales mensuales de **consumo** y de **retorno** en un municipio determinado.

### 6.3 Resultados

La agricultura de riego demandó 1.083,6 m³/s en 2017 en Brasil, representando el 52% del caudal total retirado y el 68,4% del caudal consumido, sin tener en cuenta la evaporación líquida de los embalses artificiales.

La Figura 39 presenta un panorama de concentración de áreas de riego con la ubicación y características de los principales polos de riego en el contexto nacional. También presenta, en forma gráfica, la distribución del área y la demanda de retirada en cuatro grupos: arroz inundado, caña de azúcar, cultivos en pivotes centrales y otros cultivos y sistemas. Se observan las diferentes proporciones entre la superficie y la demanda, lo que refleja las diferentes intensidades de uso del agua.

La Figura 40 presenta un resumen de la evolución de las extracciones para la agricultura de riego en Brasil.

Desde una perspectiva territorial, se observa el predominio de la actividad en el Sur en 1940, y más difusa en São Paulo, Minas Gerais, Bahía y Santa Catarina. Actualmente la actividad ocurre en todo el país, concentrada en los polos tradicionales del Sur y polos más recientes en el Oeste de Bahía, el Triángulo Mineiro y Noroeste de Minas Gerais, el Semiárido, Tocantins y São Paulo.

El gráfico de la Figura 40 muestra la serie de caudales extraídos para riego entre 1931 y 2030. La actividad ha ido creciendo a un ritmo elevado, sobre todo desde los años 1970. El potencial de expansión es alto, y se espera la incorporación de 3 millones de hectáreas para 2030.

Las mayores fluctuaciones medias anuales de la demanda (gráfico de la Figura 40) se justifican por anomalías climáticas, es decir, los puntos máximos representan años más secos en polos importantes de la agricultura de riego (mayor necesidad de suplementos) y las disminuciones representan años más húmedos (menor necesidad de riego).

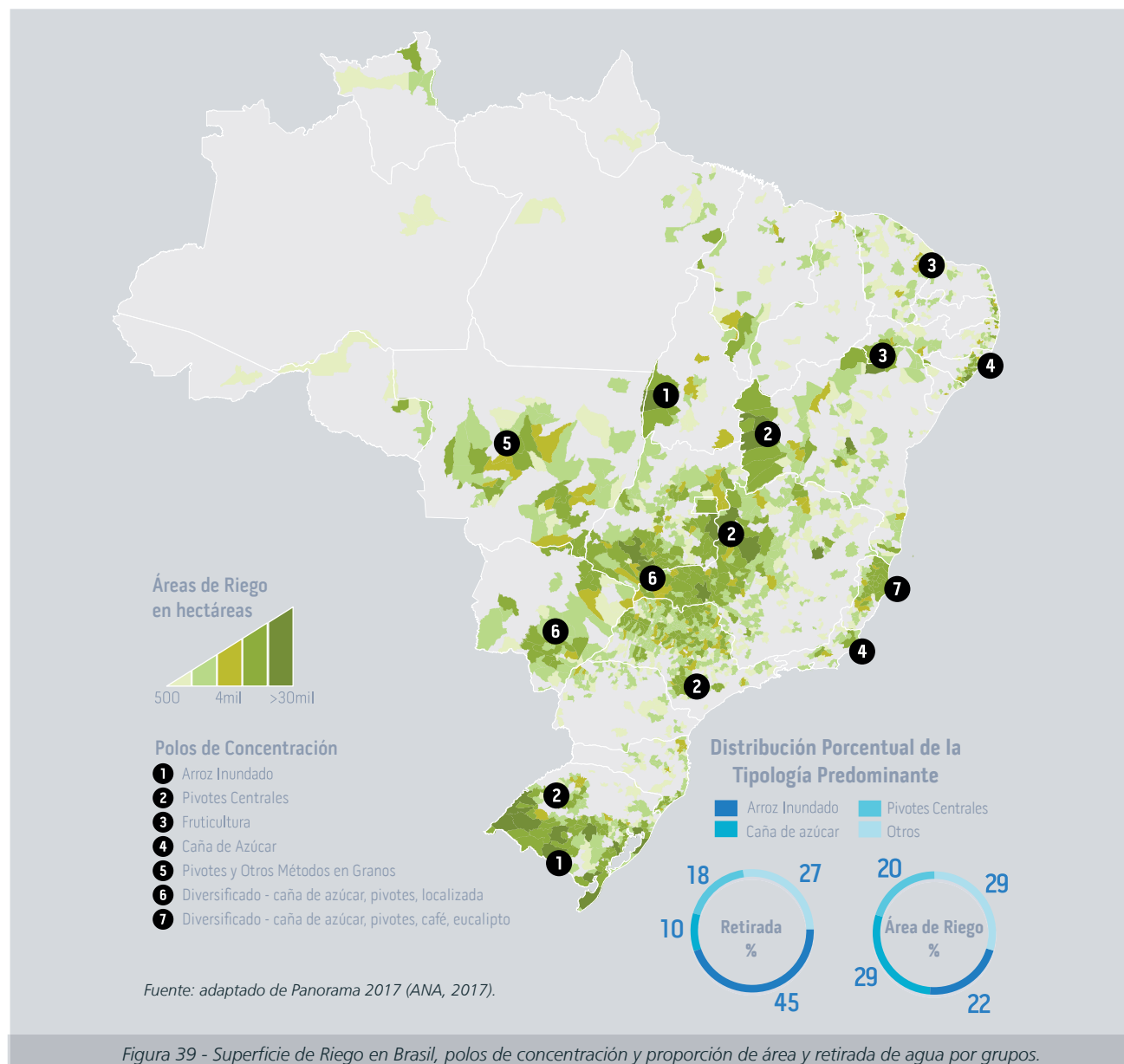
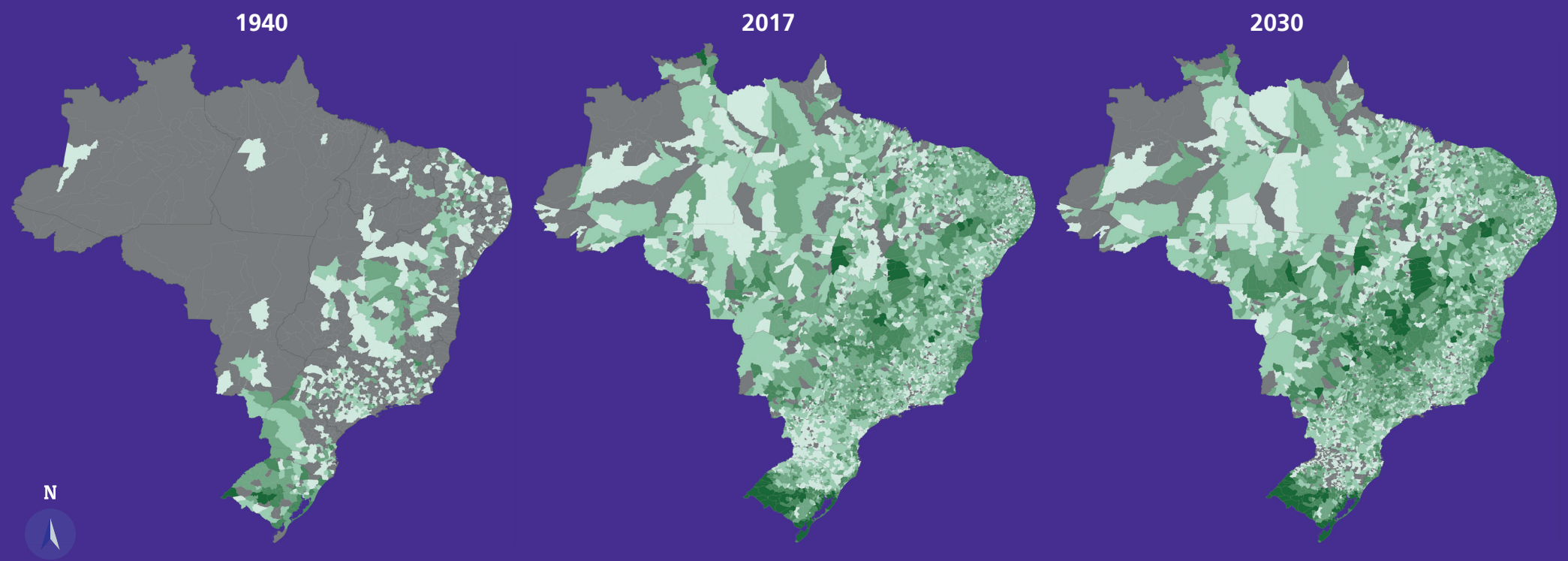
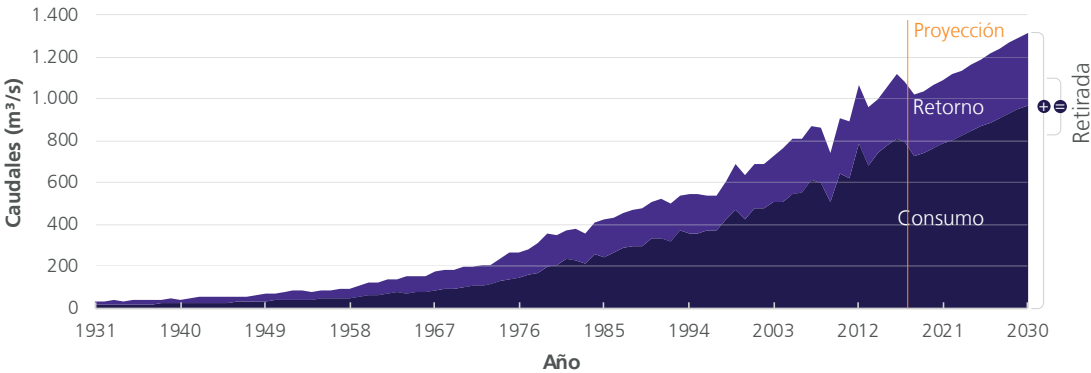
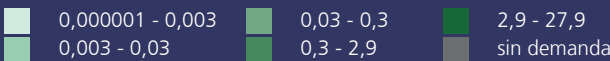


Figura 39 - Superficie de Riego en Brasil, polos de concentración y proporción de área y retirada de agua por grupos.

Figura 40 - Series de Caudales 1931 hasta 2030 - Agricultura de Riego



Caudales de Retirada por Municipio (m³/s)



Mayores Caudales de Retirada (m³/s) por Municipio (2017) - Agricultura de Riego

Ranking	UF	Municipio	Caudal Retirada (m³/s)
1º	RS	Santa Vitória do Palmar	24,204
2º	RS	Uruguaiana	23,764
3º	RS	Alegrete	21,332
4º	RS	Itaqui	20,614
5º	BA	Juazeiro	17,040
6º	RS	São Borja	16,526
7º	RS	Mostardas	15,726
8º	PE	Petrolina	15,114
9º	BA	Barreiras	14,616
10º	RS	Arroio Grande	12,982

En Rio Grande do Sul hay una alta demanda tradicional de producción de arroz, un cultivo asociado con el sistema de inundación que presenta una alta demanda unitaria de agua. Petrolina/PE y Juazeiro/BA -municipios vecinos- también tienen grandes áreas de riego, principalmente en perímetros públicos, y altas demandas unitarias de agua, debido a su ubicación en la región semiárida. Barreiras/BA se localiza en el oeste de Bahía - región del Cerrado marcada por un fuerte período seco, cuando la práctica agrícola sólo es posible con riego.

Los resultados detallados de las series históricas de usos consuntivos, para todos los municipios, pueden consultarse en [www.snirh.gov.br/usos-da-agua](http://www.snirh.gov.br/usos-da-agua).



## 7.1 Introducción

La energía termoeléctrica es producida por una planta con el calor generado por la combustión de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos. Una parte importante del calor no se convierte en electricidad, sino que se libera principalmente por medio de los sistemas de refrigeración por vapor de las turbinas. Los sistemas de enfriamiento por agua requieren volúmenes significativos de este recurso.

Las centrales térmicas han ganado relevancia en la capacidad instalada de generación de energía brasileña, especialmente a partir de la década de 2000, alcanzando una participación del 27% en la matriz eléctrica en 2016, por detrás sólo de la generación hidroeléctrica, con un 64,5%. Además de proporcionar flexibilidad y seguridad al sistema energético nacional, las centrales térmicas han ido creciendo debido a los impactos y dificultades en la generación hidroeléctrica, tales como los cambios interanuales en el régimen hidrológico, los costos y el largo tiempo requerido para el estudio, diseño, licencia y construcción.

La creciente tendencia a utilizar esta alternativa tecnológica para la generación de energía, la alta demanda de agua asociada y la forma en que se devuelven las aguas residuales al medio ambiente, llevó a ANA a desarrollar estimaciones para el sector. La inclusión de esta categoría de usos representa un desafío y, al mismo tiempo, una posibilidad de caracterizar mejor el uso de los recursos hídricos en el territorio nacional.

La demanda de agua en las centrales termoeléctricas (UTEs) depende de las tecnologías de generación, del tipo de combustible y del sistema de refrigeración, así como de las condiciones ambientales que intervienen. La operación irregular - muchos la ven como una fuente complementaria a la demanda no satisfecha por la generación hidroeléctrica - también influye significativamente en la variación intra e interanual de las estimaciones.

## 7 TERMOELETRICIDAD

Termoeléctrica Camaçari - BA  
Manu Dias - Banco de Imágenes/ANA

Como grandes cantidades de agua utilizadas para abastecer a las centrales termoeléctricas, la Figura 41 ilustra la variación de las extracciones en las unidades federativas. Río de Janeiro (con el 21% de la demanda total), Santa Catarina (13%), São Paulo (11%), Pará (9%), Maranhão (9%) y Pernambuco (8%) concentran el 72% de la demanda total, que en 2017 era de 79,5 m³/s (3,8% de la retirada total).

La Figura 42 muestra los respectivos porcentajes de retirada en las regiones brasileñas, donde se observa el liderazgo del Sureste, seguido por el Noreste, Sur y Norte. El Centro-Oeste presenta menor relevancia de la actividad termoeléctrica.

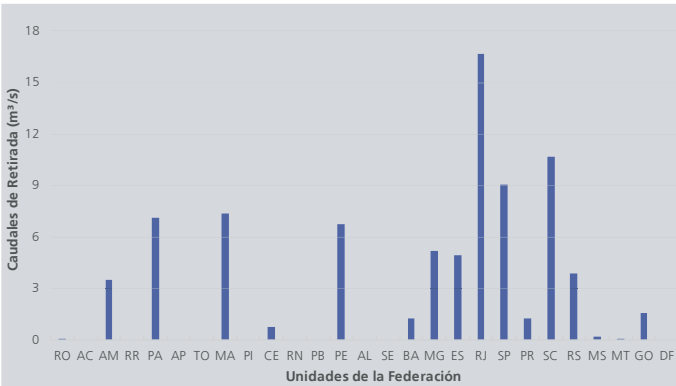


Figura 41 - Caudales de Retirada (m³/s) para centrales termoeléctricas en las UF's

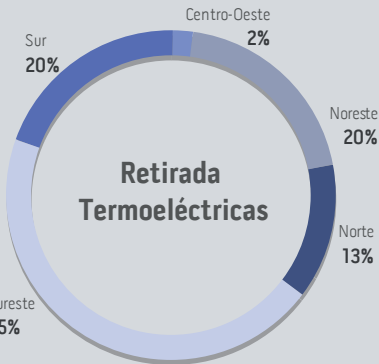
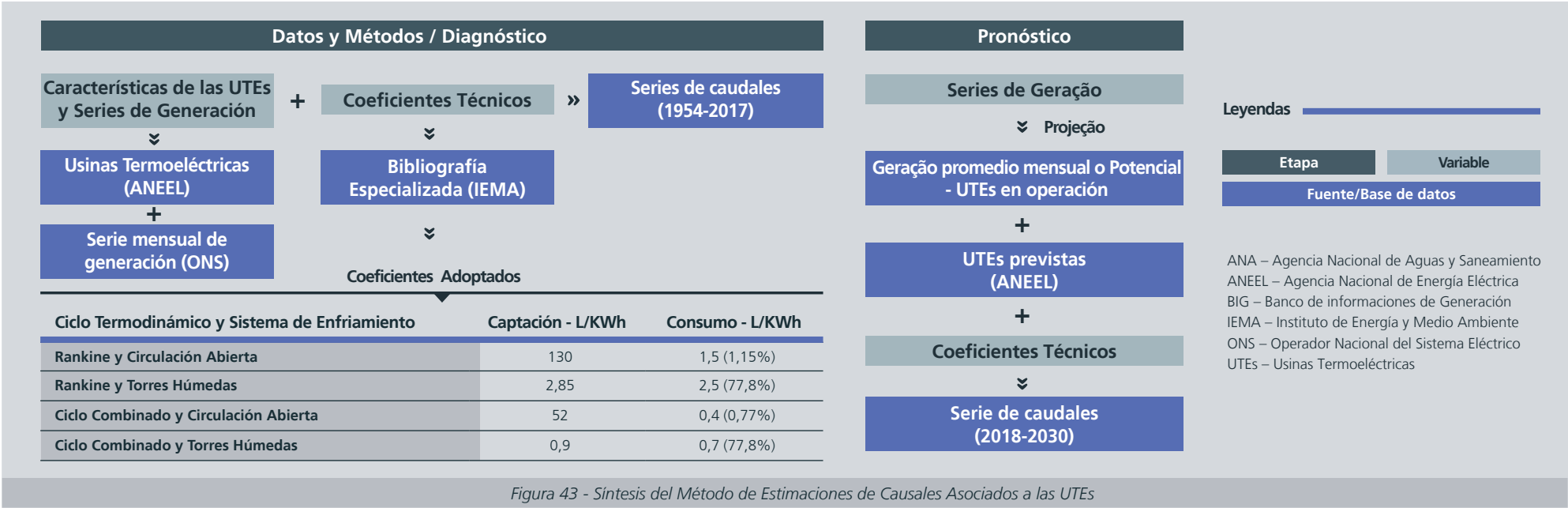


Figura 42 - Porcentajes de Retirada (UTEs) por Región en Relación con la Extracción Total

7.2 Método y Base de Datos

El diagrama de flujo (Figura 43) presenta una síntesis del método para estimar los caudales asociados a la generación de centrales termoeléctricas.



El método de estimación del sector termoeléctrico consiste en aplicar coeficientes técnicos (litros por energía generada) a la serie de generación (energía efectivamente generada) o, en ausencia de esta información, al potencial de generación.

Los coeficientes se agrupan en cuatro categorías, con la asociación entre la tecnología de conversión de calor en energía eléctrica (ciclo termodinámico) y el sistema de refrigeración de cada UTE.

De las tecnologías de conversión más utilizadas - Rankine, Brayton (ciclo abierto), combinada (combinación de las dos anteriores) y motor de combustión - generalmente sólo las del tipo Rankine y combinada dependen de los sistemas de refrigeración, que pueden ser de aire o agua. El enfriamiento con agua puede ocurrir en un sistema abierto o semicerrado con torres húmedas evaporativas, como se ilustra en la Figura 44.

Así, la demanda relevante de agua se produce en centrales térmicas que utilizan Rankine o ciclo termodinámico o combinado y que disponen de un sistema de refrigeración por agua (de circulación abierta o con torres húmedas).

De las 3 mil unidades de generación térmica operadas con combustibles fósiles, biomasa y nuclear en Brasil, que totalizan 45 GW de capacidad otorgada, la mayoría son pequeños generadores diesel. Angra I y Angra II (nucleares) tienen una capacidad de 2 GW y utilizan agua de mar en el sistema de refrigeración. Según la encuesta realizada, unas 100 UTEs demandan efectivamente volúmenes significativos de agua en sus procesos, lo que supone alrededor del 45% de la capacidad total instalada (Figura 45).

A través del Sistema de Información Georreferenciada del Sector Eléctrico (SIGEL) y del Banco de Información de Generación (BIG), la ANEEL pone a disposición algunas de las características de las centrales termoeléctricas. Se dispone de datos sobre la ubicación, el inicio de la operación,

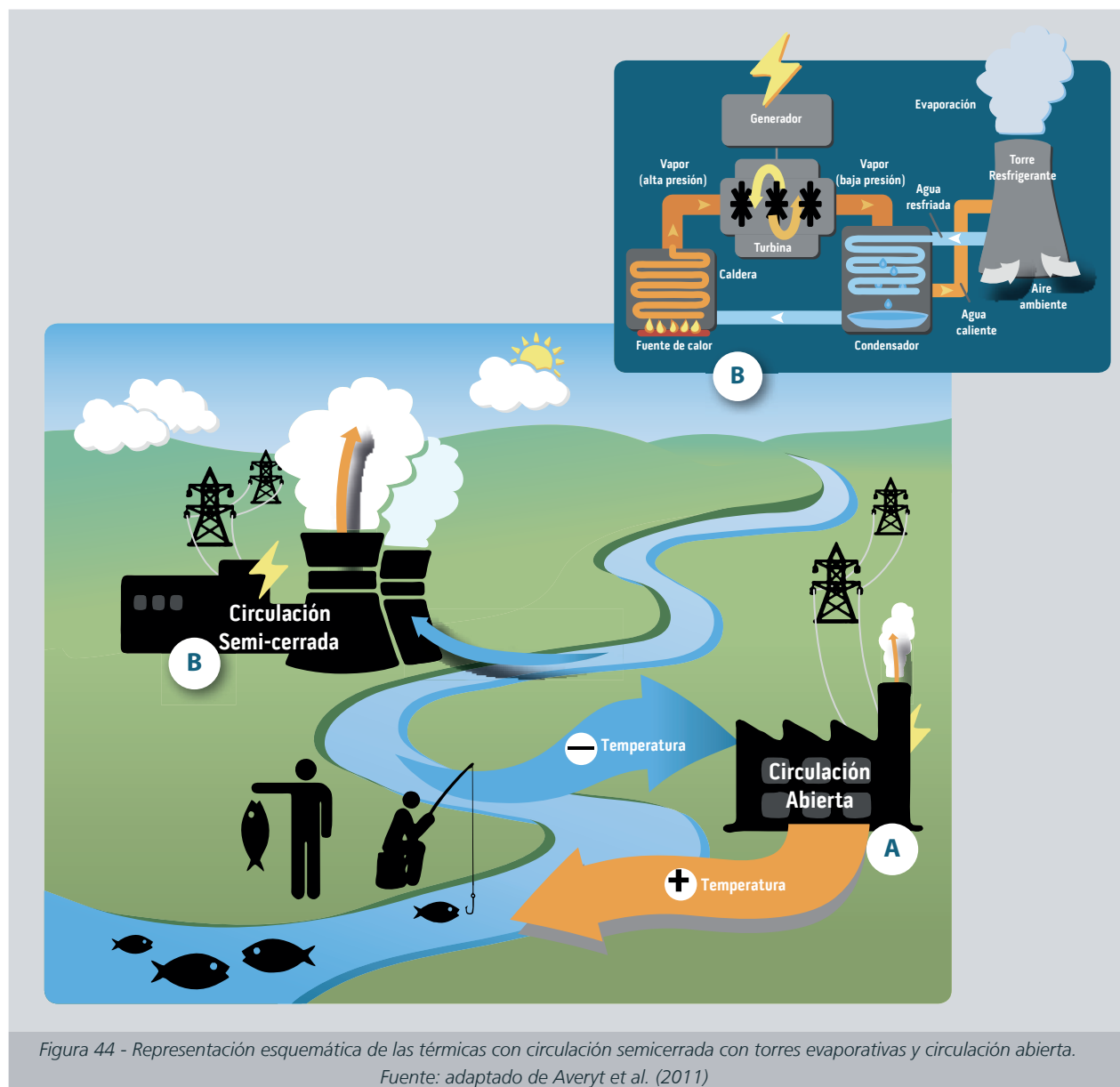


Figura 44 - Representación esquemática de las térmicas con circulación semicerrada con torres evaporativas y circulación abierta.

Fuente: adaptado de Averyt et al. (2011)



potencia concedida, potencia supervisada, destino de la energía, propietario, municipio y fuente/combustible.

Los datos característicos de cada UTE para la aplicación de los coeficientes técnicos (ciclo termodinámico y sistema de enfriamiento) se obtuvieron directamente del ONS y de publicaciones específicas, especialmente del IEMA (2016). En Arroyo (2012) también se obtuvo información sobre el sistema de enfriamiento de las UTE que operan con carbón. Para las centrales de gas natural, el ciclo termodinámico está incluido en el Plan Energético Nacional 2030 (Brasil, 2007).

Cuando no se disponía de los datos relativos al ciclo termodinámico y al sistema de enfriamiento, que definen el valor de los coeficientes utilizados, se consideraron las características de acuerdo con la Tabla 11.

Los coeficientes técnicos adoptados (Figura 43) fueron obtenidos por el Instituto de Energía y Medio Ambiente (IEMA, 2016), sobre la base de los trabajos de Stillwell (2011) y Delgado y Herzog (2012). Se consideraron eficiencias del 50% para el ciclo combinado y del 34% para el ciclo Rankine.

Se observa que en el enfriamiento por circulación abierta los coeficientes de retirada son sensiblemente superiores, pero el consumo es del orden del 1% (casi todas las devoluciones de agua). En el enfriamiento con torres húmedas, la retirada de agua es mucho menor, pero el consumo es porcentualmente alto. Por lo tanto, los valores de consumo de energía generados son comparables entre los diferentes sistemas de refrigeración, siendo mayores en el uso de torres húmedas (Figura 43).

Las series de generación mensual promedio (2000-2017) de las UTEs de funcionamiento centralizado se obtuvieron en consulta directa con el ONS. Estas UTEs concentran el 70% de la energía otorgada y presentan una gran variabilidad anual e intra-anual de generación, debido al impulso variable, como fuente complementa-



Figura 45 - Distribución Espacial de las UTEs

ria a la hidroelectricidad. Para los años sin información o con fallas en los datos, se consideró la generación promedio mensual de cada UTE, a partir de las series disponibles.

Para el resto de las centrales, sin series de generación disponibles, se consideró una generación constante correspondiente a la potencia otorgada.

Con la elaboración de la base de datos, junto con el conocimiento del ciclo termodinámico y del sistema de enfriamiento asociado a cada UTE, se aplicaron coeficientes técnicos para estimar los caudales de retirada, consumo y retorno (Ecuaciones 38 a 40).

Los mismos criterios adoptados para llenar los vacíos se utilizaron para proyectar hasta 2030 la demanda de las UTE que ya están en operación. En otras palabras, se

Caudal de retirada:

#### Ecuación 38

$$Q_{UTE} = \frac{E_{el} \cdot C_r}{3600000}$$

#### En que:

- $Q_{UTE}$  = el caudal de retirada de la UTE ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );  
 $E_{el}$  = la energía eléctrica generada o la potencia otorgada (kW);  
 $C_r$  = el coeficiente de retirada ( $l \cdot kWh^{-1}$ ).

Caudal de consumo y de retorno:

#### Ecuación 39

$$Q_{UTE,c} = Q_{UTE} \cdot C_c$$

#### En que:

- $Q_{UTE,c}$  = el caudal de consumo de la UTE ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );  
 $Q_{UTE}$  = el caudal de retirada de la UTE ( $m^3 \cdot s^{-1}$ );

#### Ecuación 40

$$Q_{UTE,r} = Q_{UTE} - Q_{UTE,c}$$

- $C_c$  = el coeficiente de consumo (%);  
 $Q_{UTE,r}$  = el caudal de retorno de la UTE ( $m^3 \cdot s^{-1}$ ).

Tabla 11 - Correlación entre combustible, sistema de refrigeración y ciclo termodinámico

Combustible	Sistema de refrigeración	Ciclo termodinámico
Biogás	Circulación Abierta	Combinado
Carbón Mineral	Circulación Abierta	Rankine
Gas de Refinería	Circulación Abierta	Combinado
Gas Natural	Torre Húmeda	Combinado
Aceite Combustible	Circulación Abierta	Rankine
Efluente Gaseoso	Circulación Abierta	Combinado
Azúfre	Circulación Abierta	Combinado
Gas de Alto Horno	Circulación Abierta	Combinado
Gas de Proceso	Circulación Abierta	Combinado
Gas Siderúrgico	Circulación Abierta	Combinado

utilizó el promedio mensual del historial disponible o, en su defecto, de la potencia otorgada.

Además, se consideró la entrada en funcionamiento de algunas nuevas UTEs, tomando como referencia el Boletín de Seguimiento de Centrales Termoeléctricas (ANEEL, 2016). Las instalaciones clasificadas como "sin previsión" no se incluyeron en la estimación de las demandas futuras. Las centrales termoeléctricas con previsión real de puesta en operación, consideradas en el escenario futuro, se presentan en la Tabla 12. En estos casos, la demanda potencial se consideró igual a la demanda de la potencia otorgada, hasta que se disponga de informaciones operativas. Las revisiones de la puesta en marcha y de la inclusión o exclusión de proyectos se actualizarán en función de la disponibilidad de informaciones.

También cabe destacar la reciente entrada en operación de dos importantes UTEs: Maranhão III, en Santo Antônio dos Lopes (MA), con una potencia de 519 MW; y Mauá 3, en Manaus (AM), con una potencia de 591 MW.

### 7.3 Resultados

A pesar de ser una actividad de intensificación más reciente, la retirada de agua por parte de las UTEs, a escala nacional, es superior a la suma de todas las extracciones para la minería y el suministro humano en las zonas rurales.

El consumo medio, sin embargo, es bajo, equivalente al 3% de la retirada, ya que gran parte de la demanda está relacionada con las UTEs con sistemas de enfriamiento de circulación abierta, donde casi toda el agua retorna al cuerpo de agua. Existen, sin embargo, UTEs cuyo consumo es superior al 70% de la retirada, estando relacionadas con sistemas de refrigeración con torres húmedas.

Las series de caudales de retirada, consumo y retorno (1954-2030) para el País se presentan en la Infografía (Figura 47). Las demandas hidroeléctricas de las centrales termoeléctricas comenzaron en 1954 en la ciudad de São Paulo con la inauguración de la UTE de Piratininga. Hasta 1960, la demanda se concentraba en São Paulo y Rio Grande do Sul, totalizando 2 m³/s. Entre 1980 y 2000 hubo una mayor distribución espacial de las centrales termoeléctricas, lo que se tradujo en un aumento de los caudales de retirada, con registros que oscilaron entre 33,6 m³/s en 1980 y 62,6 m³/s en 2000.

A partir del año 2000 hubo un avance significativo en la participación de la energía termoeléctrica en la capacidad instalada de energía eléctrica (Figura 46), reflejado en aumentos en la demanda hidroeléctrica - que pasó de 62,6 m³/s en 2000 a 79,5 m³/s en 2017. Los Estados con demandas más expresivas se destacan en la Figura 41.

En el escenario futuro, con la entrada en funcionamiento de nuevas unidades y la continuidad de la operación de las actualmente activas, la demanda promedio debería alcanzar los 93,7 m³/s en 2021.

Las centrales termoeléctricas, por razones económicas, son operadas como una fuente complementaria, siendo a menudo activadas en función de la demanda no satisfecha por la generación hidroeléctrica, bajo un cierto grado de riesgo. Esta característica da a las centrales termoeléctricas una condición de gran variabilidad operacional, observada en el gráfico (Figura 47) a partir del año 2000, cuando se dispone de series de generación mensual efectiva.

Se acentúa la variabilidad operativa y, en consecuencia, en el uso del agua, donde se observan expresivos saltos en la demanda, superando los 100 m³/s en 2014 y 2015, debido al alto nivel de activación de las UTEs en comparación con la historia. Esto ocurrió debido a las crisis hídricas que afectaron significativamente la generación hidroeléctrica

en esos años. Por lo tanto, los escenarios futuros de uso del agua por parte de las centrales termoeléctricas pueden verse muy afectados por las condiciones hidrológicas.

Se puede acceder a resultados más detallados en [www.snirh.gov.br](http://www.snirh.gov.br) y [metadados.www.ana.gov.br](http://metadados.www.ana.gov.br)

Tabla 12 - Centrales Termoeléctricas previstas

Nombre	Municipio	Combustible	Potencia (MW)	Operación
Pampa Sul	Candiota/RS	Carbón Mineral	340	2019
Porto de Sergipe I	Santo Amaro das Brotas/SE	Gás Natural	1.515	2020
Rio Grande	Rio Grande/RS	Gás Natural	1.238	2020

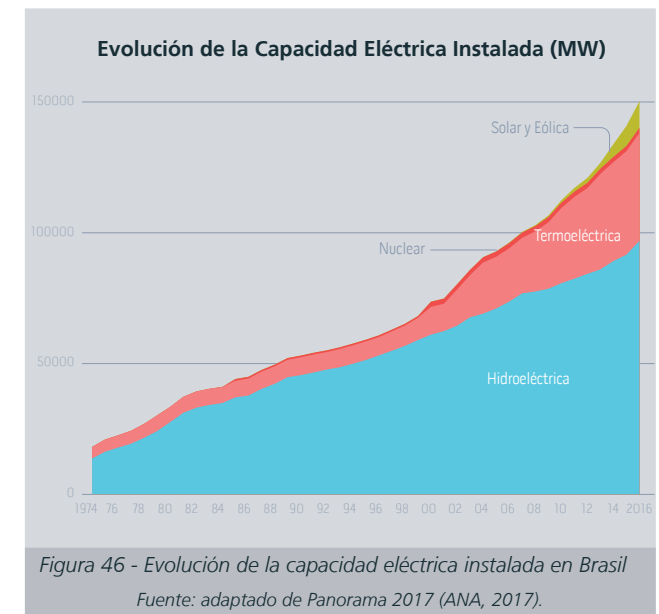
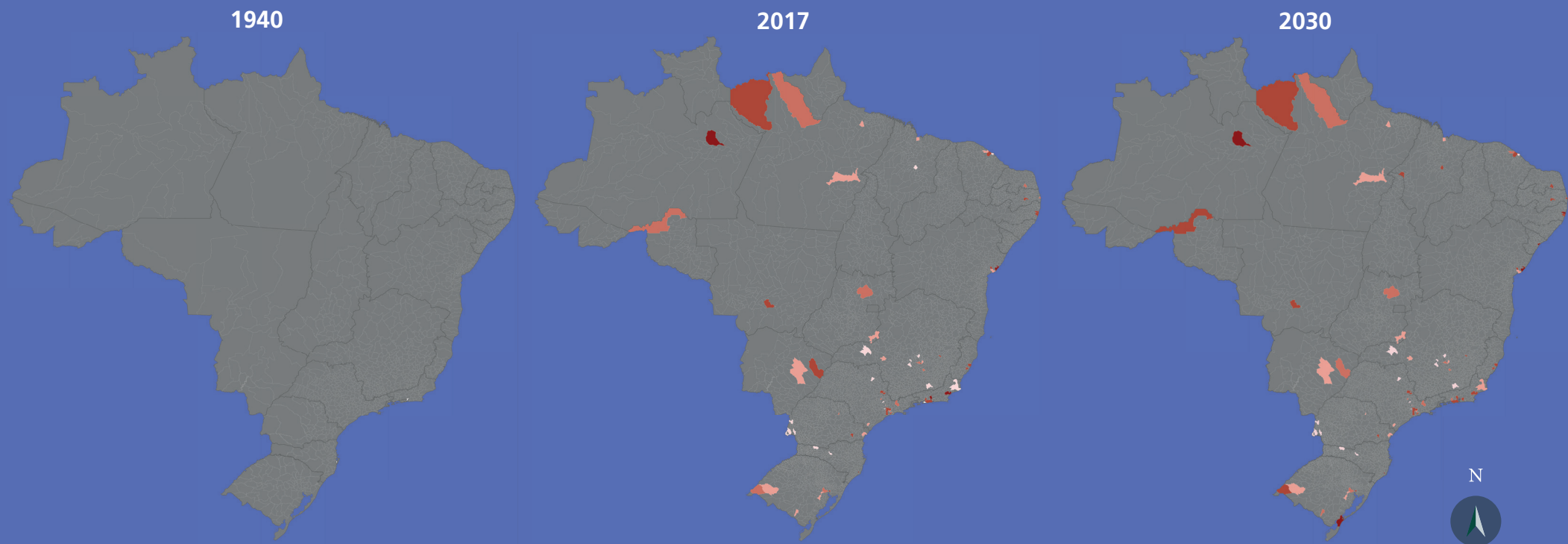
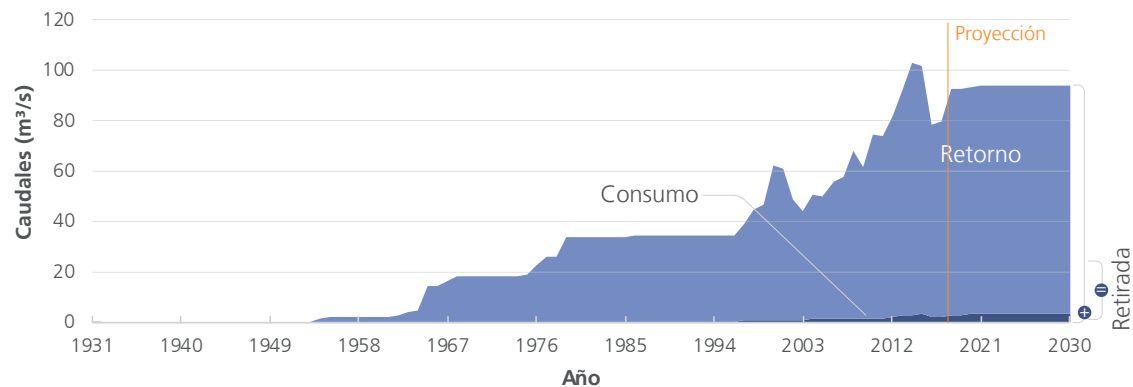
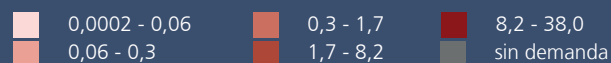


Figura 47 - Series de Caudales 1931 hasta 2030 - Centrales Termoeléctricas



Caudales de Retirada por Municipio ( $\text{m}^3/\text{s}$ )



Mayores Caudales Retirados ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) por Municipio (2017) - Centrales Térmicas

Ranking	UF	Municipio	Caudal Retirada ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1°	RJ	Rio de Janeiro	16,246
2°	SC	Capivari de Baixo	10,620
3°	MA	Imperatriz	7,036
4°	PE	Ipojuca	6,682
5°	SP	Mogi Guaçu	4,989
6°	ES	Serra	4,872
7°	PA	Barcarena	3,750
8°	AM	Manaus	3,468
9°	RS	Canoas	2,596
10°	PA	Oriximiná	2,206

En diferentes unidades de la federación, las demandas se destacan en municipios con una concentración de grandes centrales termoeléctricas, que tienen una alta variabilidad anual e intra-anual de activación. El gráfico muestra varios años de máxima demanda, los más recientes en 2014 y 2015, debido a las condiciones hidrológicas desfavorables para la generación hidroeléctrica. En las décadas de 1930 y 1940 no había retirada de agua para este uso en Brasil, y la serie comenzó en 1954 en la ciudad de São Paulo.

Los resultados detallados de las series históricas de usos consuntivos, para todos los municipios, pueden consultarse en [www.snirh.gov.br/usos-da-agua](http://www.snirh.gov.br/usos-da-agua)



## 8.1 Introducción

La evaporación líquida de embalses artificiales se define como la diferencia entre la evaporación real de un espejo de agua (evaporación bruta) y la evapotranspiración real esperada para el sitio del espejo, si no se hubiera implantado.

La evapotranspiración real corresponde al agua transportada desde la superficie terrestre a la atmósfera por la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas en condiciones ambientales reales. La evaporación de una superficie se ve afectada por varios factores, pero depende fundamentalmente de la energía disponible de la radiación solar. En superficies libres de agua, la temperatura del aire, el viento y la presión de vapor interfieren más intensamente en el fenómeno de evaporación.

La evaporación líquida es un uso importante del agua para múltiples consumos y es una información necesaria, por ejemplo, para reconstituir la serie de caudales naturales en las cuencas que albergan estos embalses. La evaluación de este uso se hace aún más relevante en escenarios de escasez hídrica y crisis energética. Dadas las dimensiones continentales de Brasil y la consiguiente heterogeneidad hidroclimática, es un gran desafío construir bases de datos y modelos de estimación representativos del espacio.

Además de las características climáticas y de los embalses, la escala cartográfica y la calidad de los mapas de masas de agua son otros aspectos importantes para la estimación de la evaporación líquida. La base de datos utilizada incluye los 148 embalses del Sistema Interconectado Nacional (SIN), que ocupan 31 mil km<sup>2</sup> (Figura 50) - y cerca de 7.200 otros embalses repartidos por todo el territorio - la mayoría de ellos pequeños y ocupando una superficie total de 9,5 mil km<sup>2</sup>. Los embalses del SIN son bien conocidos y monitoreados, mientras que para los demás es difícil establecer una serie histórica de evaporación líquida, ya que en general no existen informaciones sobre la fecha de puesta en marcha del embalse y sobre el historial de variación de la superficie del espejo de agua.

## 8 EVAPORACIÓN LÍQUIDA DE EMBALSES ARTIFICIALES

Hidroeléctrica Ilha Solteira en el Río Paraná  
Raylton Alves Batista - Banco de Imágenes/ANA

La Figura 48 ilustra la variación de los caudales de retirada en las unidades federativas, dado el gran número de usos del agua para la evaporación líquida de los embalses artificiales. El caudal de retirada se considera igual al consumo (retorno cero). São Paulo, Minas Gerais, Bahia y Ceará son los Estados con mayor consumo de agua debido al efecto de la evaporación líquida, reflejo de la historia de implementación de grandes embalses para generación hidroeléctrica o para usos múltiples, especialmente para el abastecimiento público.

La Figura 49 muestra la distribución de los caudales en las regiones y destaca la mayor participación del Noreste (33%), Sudeste (27%) y Centro-Oeste (17%).

8.2 Método y Base de Datos

En el presente estudio, la estimación de la altura de evaporación líquida se definió a partir de la relación complementaria (Morton, 1983a; 1983b), a través de los modelos CRAE (*Complementary Relationship Areal Evapotranspiration*), para estimar la evapotranspiración real, y CRLE (*Complementary Relationship Lake Evaporation*), para obtener la evaporación real del lago. La evaporación líquida se obtiene restando de la evaporación real del lago la evapotranspiración real esperada para el área.

Los modelos CRAE y CRLE fueron automatizados por el software WREVAP (Morton et al., 1985; McMahon et al., 2013), que tiene como entrada la altitud (m) y la latitud de la estación meteorológica considerada, la temperatura promedio (°C), la humedad relativa (%), la precipitación promedio anual (mm) y la insolación (h) (o radiación global), siendo la temperatura y la insolación/radiación los parámetros de mayor sensibilidad para los modelos. En el modelo CRLE, la salinidad del lago se consideró nula y todos los embalses se clasificaron con

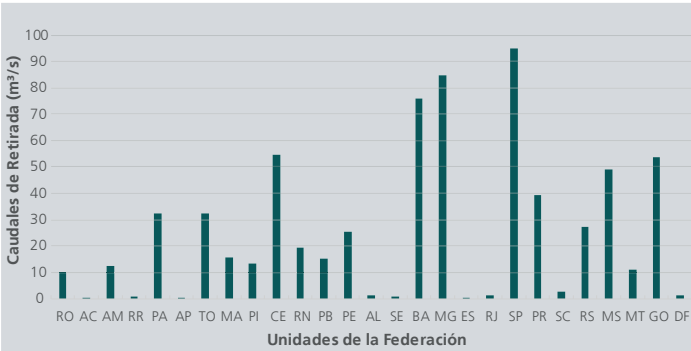


Figura 48 - Caudales de Retirada (m³/s) para la Evaporación Líquida en las UF



Figura 49 - Porcentajes de Retirada para la Evaporación Líquida en Relación con la Retirada Total en Cada Región

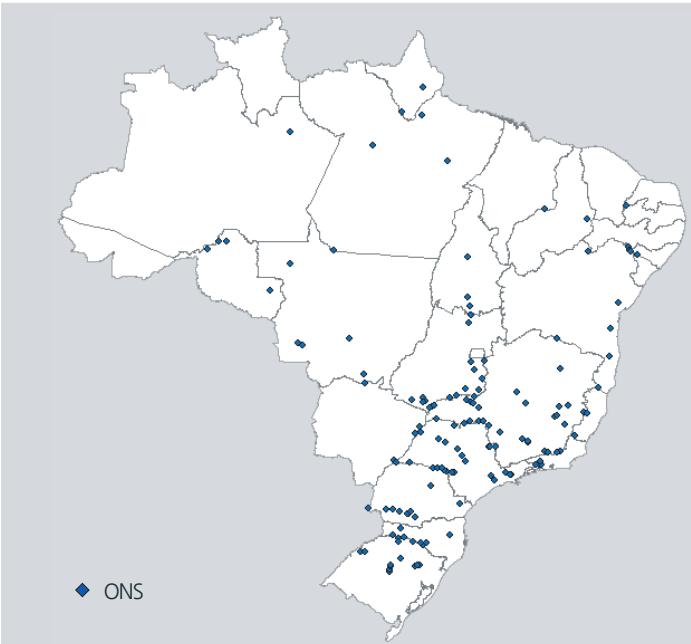
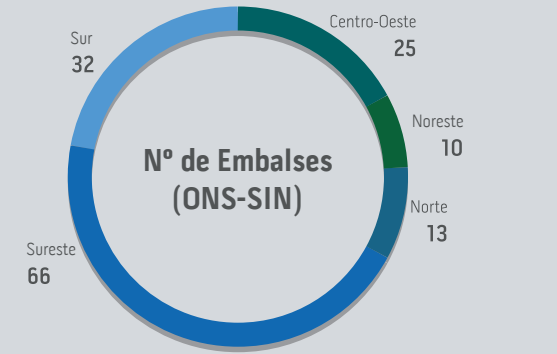


Figura 50 - Embalses del Sistema Interconectado Nacional (SIN), operados por el ONS.





profundidad constante (50 m). Así, se calcularon series de evaporación líquida para 524 sitios de estaciones meteorológicas convencionales y automáticas del INMET, cuyas series de datos mensuales fueron consolidadas y puestas a disposición.

Cabe mencionar que las estaciones convencionales cuentan con largas series de monitoreo, habiendo sido puestos a disposición por el INMET, hasta el presente, los datos de 1961 en adelante. Las estaciones automáticas tienen series más recientes, a partir de los años 2000. Se seleccionaron las estaciones automáticas con al menos 60 meses de datos y se excluyeron las que coincidían con estaciones convencionales. De este modo, se utilizaron 524 estaciones meteorológicas en todo el país, 263 convencionales (series largas) y 261 automáticas (series más cortas con intensificación en los años 2000).

Las series mensuales de altura de evaporación líquida obtenidas para los sitios de las estaciones meteorológicas fueron interpoladas para los sitios de los otros espejos de agua artificiales. Es decir, para cada par mes/año se calculó una superficie. Para cada embalse se consideraron los valores de los píxeles que intersecan la superficie mapeada, junto con el área reportada o mapeada de la superficie del lago.

Se pueden realizar cálculos para cualquier base cartográfica de masas de agua. En el presente estudio se utilizó la base ANA, que cuenta con 7.360 espejos de agua artificiales con una superficie superior a 20 hectáreas (ha), con 148 embalses operados por el ONS que ocupan 31 mil km<sup>2</sup> (76,5%) y de los cuales existe un historial de variación de área mensual (Figura 50). Los otros embalses mapeados totalizan 9,5 mil km<sup>2</sup> (23,5%) y se utilizó un área fija correspondiente al área mapeada.

Para la mayor parte de la superficie de las masas de agua existe la fecha de implantación y el historial de variación mensual de la superficie. Para los demás espejos, se adopta un área fija, correspondiente al área cartogra-

fiada, recordando que esta variación no suele ser tan dinámica como en los embalses operados por el sector eléctrico. A medida que estos datos estén disponibles, será posible incorporarlos a la rutina de cálculo.

### 8.3. Resultados

La Figura 51 muestra el mapa con la altura promedio anual de evaporación líquida interpolada para todo el País, junto con la distribución de las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio. Los valores de evaporación líquida más bajos se concentran en las regiones Norte y Sur, lo que se explica por los valores más altos y la regularidad de las precipitaciones. Se observan los valores más altos esperados para el Semiárido, así como la posibilidad incluso de evaporación líquida negativa en regiones húmedas de la Amazonía, en función de la evapotranspiración real, que puede superar la evaporación de un lago bajo condiciones ambientales locales.

La Figura 52 presenta los promedios mensuales de la altura de evaporación líquida por región del País, destacando la magnitud y la estacionalidad.

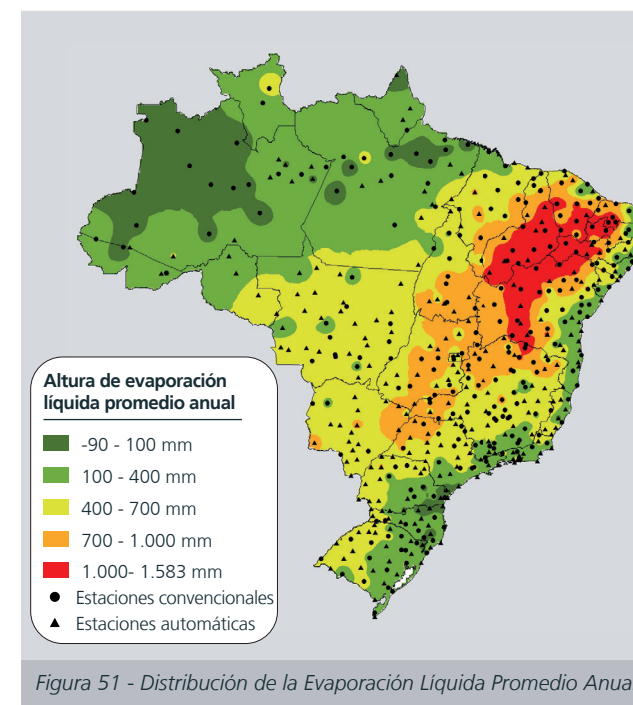


Figura 51 - Distribución de la Evaporación Líquida Promedio Anual

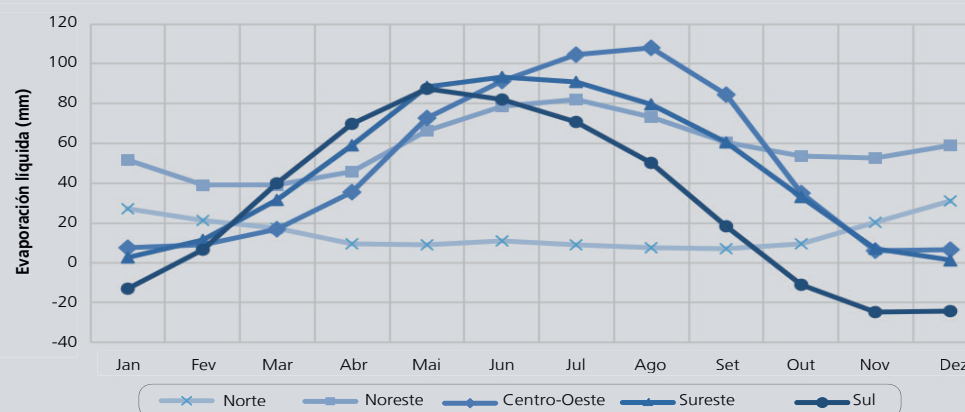


Figura 52 - Promedios Mensuales de Evaporación Líquida por Región de Brasil

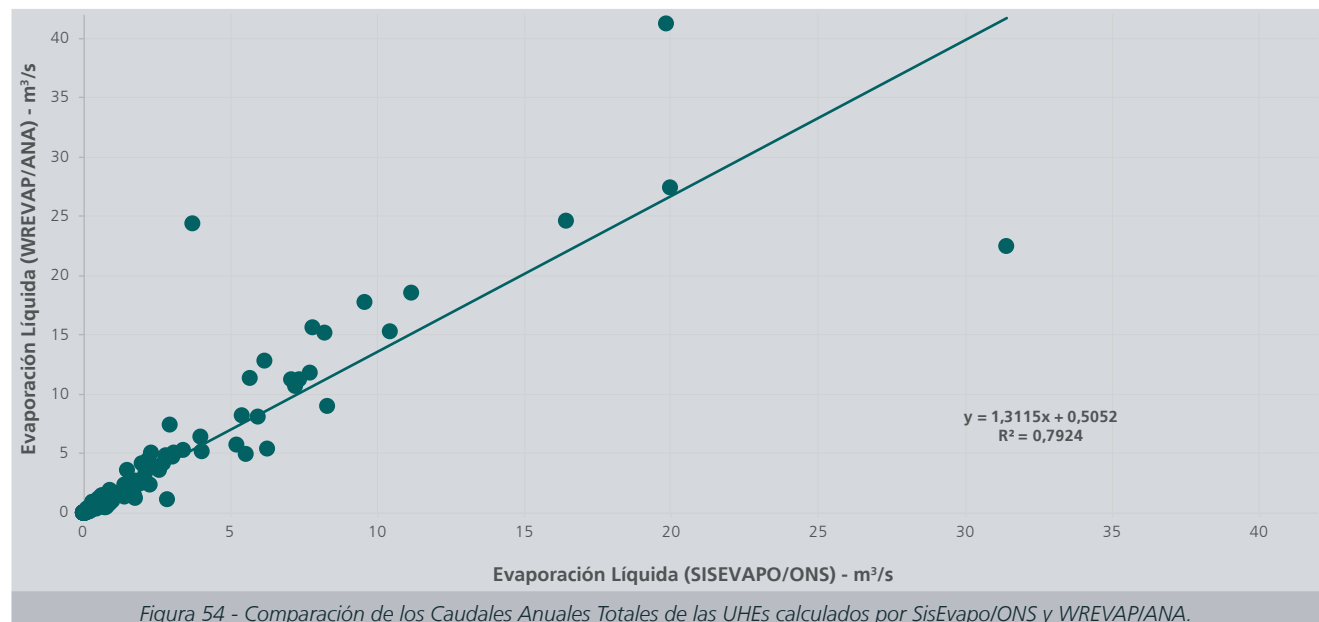
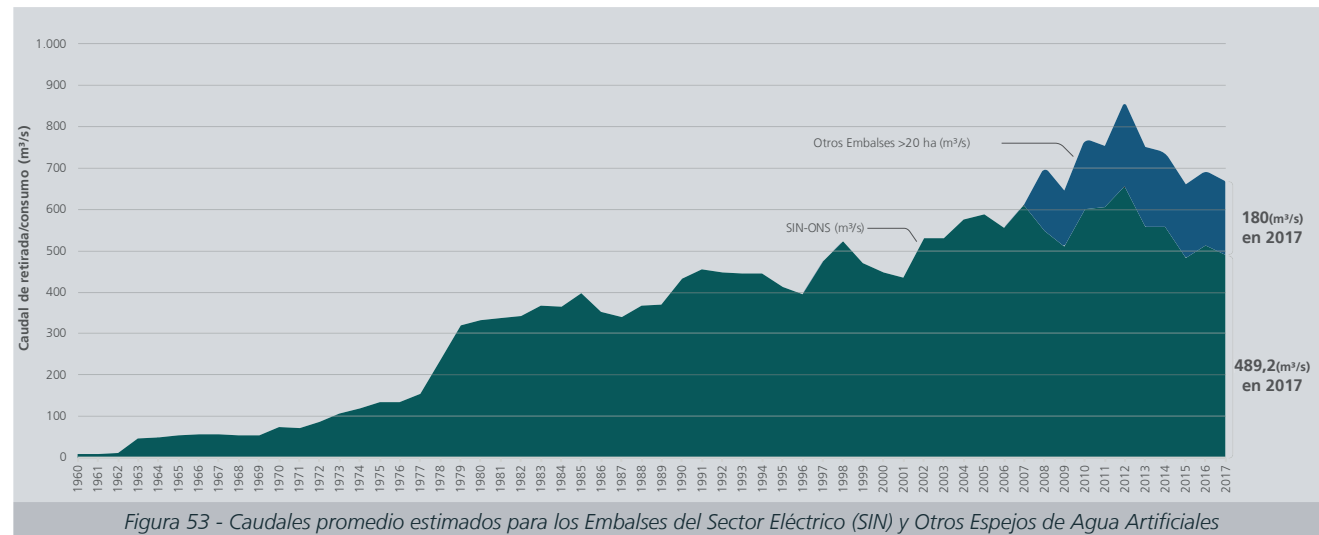


La Figura 53 muestra el comportamiento de los caudales de evaporación líquida promedio anual, reflejando las características de la estacionalidad interanual. Para los embalses operados por el ONS, se presentan las series completas desde la implementación de cada embalse (1960 a 2017), representando la dinámica de entrada en operación de nuevos embalses y las variaciones climáticas y de área promedio de los espejos de agua. En este agregado nacional, el mayor salto se verifica entre 1977 y 1979 con el relleno del lago Sobradinho, uno de los mayores lagos artificiales del mundo con 4,2 mil km<sup>2</sup>, ubicado en una zona de elevada altura de evaporación líquida.

Para los otros espejos de agua, la Figura 53 presenta las series de evaporación líquida anual promedio entre 2008 y 2017.

La Figura 54 presenta, para los embalses operados por el ONS, la correlación entre los valores obtenidos por WRE-VAP/ANA y los obtenidos previamente por el ONS en el proyecto SisEvapo (ONS, 2003; 2004). Los valores promedio de las dos estimaciones son similares para el País, aunque la amplitud estacional es mayor para la serie calculada por ANA, especialmente en el período seco de las centrales hidroeléctricas ubicadas en el Centro-Sur (áreas de Cerrado), lo que ocasiona un aumento en los valores estimados para las centrales hidroeléctricas de esta región.

Aunque ambas estimaciones adoptan la relación complementaria de Morton (1983) operacionalizadas por los modelos CRAE y CRLE, así como las áreas promedio mensuales de los espejos, las series de datos climatológicos son bastante diferentes: en ANA se observan los valores mensuales de 524 estaciones meteorológicas en todo el país - 263 convencionales (series largas) y 261 automáticas (series más cortas con intensificación en la década de 2000). En el caso del estudio del ONS, se calcularon 12 valores fijos mensuales utilizándose 205 estaciones con normales climatológicas entre 1961 y 1990. Las diferencias en los métodos de regionaliza-



ción de datos en SisEvapo y WREVAP/ANA, así como los diferentes ajustes y versiones de programación de los modelos CRAE y CRLE, también pueden explicar las diferencias en los resultados

Si se considera la consolidación de los resultados para la base de las masas de agua utilizadas, los embalses del Sistema Interconectado Nacional (SIN/ONS) totalizaron en 2017 un caudal promedio anual de 489,2 m<sup>3</sup>/s, y los otros 179,9 m<sup>3</sup>/s. La proporción de la demanda (73,1% y 26,9%, respectivamente) es similar a la proporción de superficie (74,5% x 25,5%). La Figura 55 muestra la espacialización de estos resultados con énfasis en los embalses con demanda superior a 1 m<sup>3</sup>/s en 2017.

El caudal total de retirada/consumo de la evaporación líquida fue de 669,1 m<sup>3</sup>/s en 2017, posicionando este uso como el segundo más alto del país. Al igual que el riego (retirada de 1.083 m<sup>3</sup>/s y consumo de 792 m<sup>3</sup>/s), la evaporación líquida presenta amplitudes estacionales expresivas y su comportamiento está altamente influenciado por las condiciones hidro-meteorológicas intra e interanuales.

Si se considera el mismo universo de embalses, la demanda de evaporación líquida puede llegar a 759 m<sup>3</sup>/s en años con características climáticas y de operación promedio. En 2012, con condiciones climáticas más secas que el promedio observado, la evaporación líquida fue de alrededor de 850 m<sup>3</sup>/s (Figura 53).

Por último, se destaca que los resultados que se están produciendo en la actualidad representan un importante salto de calidad en la consolidación de bases de datos y en la automatización de los cálculos de evaporación líquida. Al mismo tiempo, otras mejoras seguirán siendo objeto de los estudios de ANA.

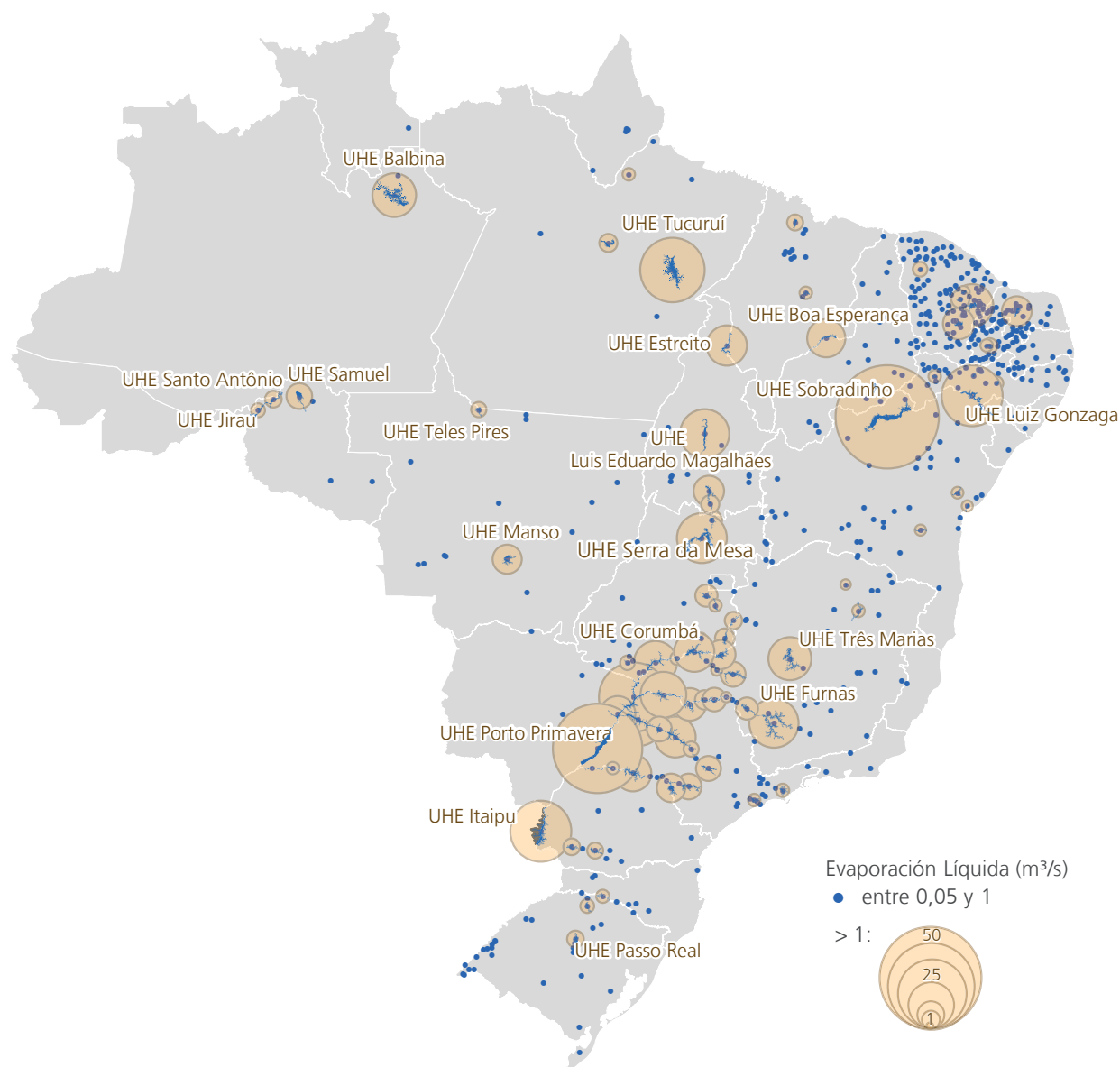


Figura 55 - Caudales de Evaporación Líquida de masas de agua artificiales (por encima de 0,05 m<sup>3</sup>/s).





## CONSIDERACIONES FINALES

Región Hidrográfica Amazónica - Amazonas, Acre, Rondônia, Roraima, Amapá, Pará y Mato Grosso  
Rui Faquini - Banco de Imágenes/ANA

La planificación y gestión de los recursos hídricos en Brasil requiere informaciones precisas y actualizadas sobre el balance hídrico, es decir, sobre la relación entre la oferta y los usos del agua.

Los estudios sobre la oferta de agua han avanzado significativamente en las últimas décadas, con la expansión de la red hidrometeorológica y la disponibilidad de series históricas de datos. La mejora de los modelos hidrológicos y de la base hidrográfica otocodificada, junto con los nuevos avances tecnológicos, han contribuido a la caracterización más precisa de la disponibilidad hídrica nacional. La incorporación del cambio climático y su impacto en la oferta de agua ha sido un nuevo frente de investigación en los estudios de planificación.

En relación con las demandas, la Agencia Nacional del Agua - ANA también ha emprendido varios esfuerzos de mejora, siguiendo dos líneas. La primera se refiere a la constante mejora metodológica y tecnológica. La segunda línea de acción consiste en la producción, perfeccionamiento o recuperación de bases de datos consolidadas, es decir, datos de entrada primarios y secundarios para los modelos de estimación.

El Manual de Usos Consuntivos del Agua en Brasil es un producto importante de la sistematización de esfuerzos para mejorar y estandarizar las estimaciones. De esta manera, consolida y amplía los esfuerzos recientes para estimar los usos del agua en todos los municipios del territorio en un horizonte de 100 años, incluyendo, de una manera sin precedentes, proyecciones de futuro (1931-2030). Además de la revisión de los usos tradicionales -suministro humano (urbano y rural), suministro animal, industria de transformación, minería y riego -, se incorporaron las estimaciones de uso de las centrales termoeléctricas y de evaporación líquida de embalses artificiales (uso múltiple).



Detrás de los resultados generados hay un gran esfuerzo en el establecimiento de una base de datos geoespacial consistente y actualizable, que permita la incorporación constante de desarrollos metodológicos, tecnológicos y de bases de datos.

A este respecto, es importante destacar la importancia de fortalecer las asociaciones con instituciones de producción de datos e investigación, como la CONAB, la EMBRAPA, el IBGE y las universidades, a nivel nacional, además de organizaciones internacionales como la FAO y el United States Geological Survey (USGS). La asociación con las Unidades de la Federación también debería mejorarse y fortalecerse.

Con la amplia difusión y transparencia de los resultados, también se espera que los usuarios de estos datos contribuyan a la mejora de las metodologías y bases de datos, especialmente en la realización de análisis sectoriales y a escala municipal o microrregional.

La identificación y cuantificación de los usos actuales y potenciales en las subcuencas brasileñas, por sector económico, también representa una oportunidad para mejorar el proceso participativo en la gestión hídrica y la definición de las agendas operativas, con un enfoque en la acción sectorial y la priorización en cuencas con problemas de equilibrio entre la oferta y la demanda de los recursos hídricos.

Esta nueva base técnica se convierte en la referencia nacional en materia de usos del agua para las políticas de recursos hídricos, seguridad hídrica, saneamiento, riego y desarrollo regional, todo ello bajo la responsabilidad del recién creado Ministerio del Desarrollo Regional – MDR, además de la interfaz con la política energética, considerando la matriz nacional predominantemente hidroeléctrica. En el ámbito del sistema de gestión de los recursos hídricos, se aplicará en la mejora de los instrumentos de gestión previstos en la Ley de Aguas,

especialmente en los Planes de Recursos Hídricos y en los procesos de otorgamiento de concesiones de uso del agua. Así, las nuevas estimaciones de uso serán la base del Plan Nacional de Recursos Hídricos 2021-2035, orientando tanto la formulación como la implementación y el monitoreo de este importante instrumento de la Política Nacional de Recursos Hídricos.

A nivel sectorial, esta base proporciona a los sectores productivos un nuevo panorama y una nueva visión del futuro de los usos del agua y del balance hídrico en las cuencas hidrográficas del territorio nacional, orientando el análisis del riesgo y la sostenibilidad hídrica de las empresas. La planificación del Estado brasileño junto con los sectores se basará en estas informaciones de referencia, orientando instrumentos importantes como los Planes Nacionales y Estatales de Riego y las revisiones del Plan Nacional de Energía.

La expansión del conocimiento sobre los usos del agua tiene importantes repercusiones en los análisis de seguridad hídrica, concepto que incluye la garantía del suministro de agua para el suministro humano y las actividades productivas. Este conocimiento subvenciona tanto la orientación de la gestión de la oferta de agua (infraestructuras hídricas, operación de embalses, asignación negociada del agua) como la gestión de la propia demanda (uso racional, control de la demanda, reducción de las pérdidas en los sistemas de suministro). En este sentido, cabe destacar la incorporación de los resultados de este estudio al Plan Nacional de Seguridad Hídrica.

Finalmente, se reitera que los resultados desagregados de las series de usos consuntivos generados en el estudio (1931-2030), por sector usuario y municipio, así como los mapas interactivos, paneles de indicadores y otros contenidos, pueden ser consultados en el portal del Sistema Nacional de Información sobre Recursos Hídricos - SNIRH, en [www.snirh.gov.br](http://www.snirh.gov.br) > Usos del Agua.



Rio Grande águas abaixo de la UHE Mascarenhas de Moraes (MG)  
Raylton Alves / Banco de Imágenes ANA



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Canal Sistema Presa - Pedra Do Cavalo - BA  
Eraldo Peres - Banco de Imágenes/ANA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS Y SANEAMIENTO (Brasil). **Programa de ações estratégicas para o gerenciamento integrado da bacia do rio São Francisco e da sua zona costeira**: relatório final. Brasília: ANA, 2004.

\_\_\_\_\_. **Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2005, 134p.

\_\_\_\_\_. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos 2009**. Brasília: ANA, 2009, 204 p.

\_\_\_\_\_. **Atlas Brasil**: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília: ANA, 2010.

\_\_\_\_\_. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2013a, 252 p.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**: 2013. Brasília: ANA, 2013b, 432p.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**: informe 2015. Brasília: ANA, 2015, 88 p.

\_\_\_\_\_. **Estudo de Modelagem Quantitativa e Qualitativa de Trechos de Rio em Bacias Hidrográficas Consideradas Críticas**: resumo executivo. Brasília: ANA, 2016.

\_\_\_\_\_. **Água na Indústria**: uso e coeficientes técnicos. Brasília: ANA, 2017a, 76 p.

\_\_\_\_\_. **Atlas Irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 2017b, 86 p.

\_\_\_\_\_. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2017c, 177 p.



\_\_\_\_\_. **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada na Região Centro-Sul do Brasil**. Brasília: ANA, 2017d.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Boletim de Acompanhamento das Centrais Geradoras Termelétricas**. Brasília: ANEEL, 2016.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 56. Rome: FAO, 1998.

AMARAL, L. G. H. do; RODRIGUEZ, R. del G.; PRUSKI, F. F.; RAMOS, M. M. Vazão retirada e consumo efetivo de água em diferentes sistemas de irrigação do arroz. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 3, p. 178-192, jul./set. 2005. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dea/reveng/arquivos/Vol13/v13n3p178-192.pdf>>.

ARROYO, E. M. V. **Proposta metodológica para avaliação da vulnerabilidade da geração termelétrica a carvão mineral no Brasil às mudanças climáticas**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012, 176 p.

AVERYT, K. et al. **Freshwater use by U.S. power plants: electricity's thirst for a precious resource**. Cambridge/MA: Union of Concerned Scientists, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: Síntese executiva**. Brasília, DF, 2006. 135 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME: EPE, 2007.

\_\_\_\_\_. **Plano Nacional de Mineração 2030**. Brasília: MME, 2011b.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil Projeções do Agronegócio 2010/2011 a 2020/2021**. Brasília: MAPA, 2011a.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Desenvolvimento de matriz de coeficientes técnicos para recursos hídricos no Brasil: relatório final dos coeficientes técnicos de recursos hídricos das atividades industrial e agricultura**. [S.l. : s.n.], 2011.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016**. Brasília: SNSA/MCidades, 2018, 220 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasil). **Indústria em números (março/2017)**. Brasília: CNI, 2017, 8 p.

COSTA, A.D.M. **Quantificação de atributos físicos de solos de várzea, relacionados com a disponibilidade de água, o espaço aéreo e a consistência do solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Pelotas: UFPEL-FAEM, 1993, 134p.

DELGADO, A.; HERZOG, H. J. **A simple model to help understand water use at power plants**. Massachusetts Institute of Technology: Energy Institute, 2012.

DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY (DWAF). South African Water Quality Guidelines. **Livestock Watering**. ed. 2, 1996, 163 p.

EMBRAPA. **Cultivo do arroz irrigado no Brasil**. Embrapa Clima Temperado, 2003. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/sistemas/arroz/>>. Acesso em: 09 maio 2005.

\_\_\_\_\_. **Estimando o Consumo de Água de Suínos, Aves e Bovinos em uma Propriedade**. Cartilha. Concórdia/SC: Embrapa Suínos e Aves, 2005.

\_\_\_\_\_. **Consumo de água na produção animal: comunicado técnico 102**. São Carlos/SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2013, 6p.

\_\_\_\_\_. **Dados conjunturais da produção de arroz (Oryza sativa L.) no Brasil (1986 a 2017): área, produção e rendimento**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 20 out. 2018.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Outlook Fiesp 2025: projeções para o agronegócio brasileiro**. São Paulo: FIESP, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Livestocks's Long Shadow: Environmental issues and options**, FAO, 2006.

GLEICK, P. et al. **Waste not, want not: the potential for urban water conservation in California**. [S.l.]: Pacific Institute, 2003

GOMES, A. do S.; PAULETTO, E.A. (Ed.) **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 1999. 201p.

GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004.

IBGE. **Estatísticas do Século XX**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006, 577 p



\_\_\_\_\_. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

\_\_\_\_\_. **Evolução da divisão territorial do Brasil 1872 - 2010**: conteúdo digital, 2011. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default\\_evolucao.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default_evolucao.shtm)>. Acesso em: 11 set. 2014.

\_\_\_\_\_. **Projeções da População**: Brasil e Unidades da Federação. Série Relatórios Metodológicos, v. 40. Rio de Janeiro: IBGE, 2013a, 40 p.

\_\_\_\_\_. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 41, p.1-108, 2013b.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Industrial**: empresa. Rio de Janeiro: IBGE, v. 35, n. 1, p. 1-44, 2016a.

\_\_\_\_\_. **Pesquisa Industrial**: produto. Rio de Janeiro: IBGE, v. 35, n.2, p.1-20, 2016b.

\_\_\_\_\_. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 45, p.1- 17, 2017.

IDAHO DEPARTMENT OF WATER RESOURCES (IDWR). **Domestic, Commercial, Municipal and Industrial Water Demand Assessment and Forecast in Ada and Canyon Counties**. Idaho: [s.n.], 2001.

INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado do Paraná**: Relatório 1.1.: Diagnóstico das Demandas e Disponibilidades Hídricas Superficiais. Curitiba, 2010.

INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Uso de água em termoeletricas**. Série Termoeletricidade em foco. São Paulo: IEMA, 2016, 34 p.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL (IMASUL). SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DO PLANEJAMENTO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande: IMASUL: SEMAC, 2010.

INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **Cultivares**. [S.l. : s.n.], 2005. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/cultivares.pdf>>. Acesso em: 09 maio 2005.

KONIG, O. **Rendimento do milho sob três níveis estáticos de drenagem e irrigação sub-superficial em plano-sol (RS)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Santa Maria: Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 1983, 85p.

MACHADO, R.L.; TURATTI, A.L.; MACHADO, A.L.; ALONÇO, A.S.; REIS, A. Estudo de parâmetros físicos em solo de várzea, antes e após escarificação. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.2, n.3, p.175-178, 1996.

MARCHEZAN, E. et al. Desempenho de genótipos de arroz irrigado cultivados no sistema pré-germinado com inundação contínua. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1349-1354, 2004.

MAUPIN, M.A. et al. **Estimated use of water in the United States in 2010**: U.S.Geological Survey Circular 1405, 2014.

McMAHON, T.A.; PEEL, M.C.; LOWE, L.; SRIKANTHAN, R.; McVICAR, T.R. **Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data**: a pragmatic synthesis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 1331–1363, 2013.

Disponível em: <<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/1331/2013/>>. Acesso em: 08 mar. 2017.

MEDEIROS, A. M. **Bases metodológicas para a incorporação da variável ambiental no planejamento da expansão termelétrica no Brasil**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2003, 126 p.

MORTON, F.I.; RICARD, F.; FOGARASI, S. **Operational estimates of areal evapotranspiration and lake evaporation**: Program WREVP. NHRI Paper 24. Ottawa: National Hydrology Research Institute, 1985.

MORTON, F.I. Operational estimates of areal evaporation and their significance to the science and practice of hydrology. **Journal of hydrology**, v. 66, p. 1-76, 1983a.

\_\_\_\_\_. Operational estimates of lake evaporation. **Journal of hydrology**, v. 66, p. 77-100, 1983b.

NORTHERN IRELAND ENVIRONMENT AGENCY (NIEA). **How to Calculate Water Usage on Farms**. [S.l. : s.n.], 2009, 10p.

ONTARIO MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND RURAL AFFAIRS - OMAFRA (Canada). **Water Requirements of Livestock**. Ontario, Canada, 2009.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água em bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN**. [S.l. : s.n.], 2003a.

\_\_\_\_\_. **Vetores de Evaporação Líquida para o Subsistema Nordeste** (ONS-NT-074/2003). Rio de Janeiro: ONS, 2003b, 41 p.

\_\_\_\_\_. **Evaporações líquidas nas usinas hidrelétricas**. Rio de Janeiro: ONS, 2004, 61 p.

\_\_\_\_\_. **Estimativas das Vazões para as Atividades de Uso Consuntivo da Água em Bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN**. Brasília: ONS: FAHMA-DZETA: ANA: ANEEL: MME, 2005.

ORANGE, M.N. et al. California Simulation of Evapotranspiration of Applied Water and Agricultural Energy Use in California. **Journal of Integrative Agriculture**, 12(8), p. 1371-1388, 2013.

PEREIRA, R.M. et al. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Irriga & Inovagri**, Botucatu, SP, p. 149-157, 2015.

PETRINI, J.A. et al. **Sistema de cultivo de arroz pré-germinado e transplante de mudas**. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001, 139 p.

ROSSATO, L.; ALVALÁ, R. C. S.; TOMASELLA, J. Variação espaço-temporal da umidade do solo no Brasil: análise das condições médias para o período de 1971-1990. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, p.113 - 122, 2004.

SCARPARE, F. V. et al. Sugarcane water footprint under different management practices in Brazil: Tietê/Jacaré watershed assessment. **Journal of Cleaner Production**, ELSEVIER, 1-9, 2015.

SHAFFER, K; RUNKLE, D. **Consumptive Water-Use Coefficients for the Great Lakes Basin and Climatically Similar Areas**. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 5197. Virginia: USGS, 2007.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado**: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Itajaí/SC: SOSBAI, 2003.

STILLWELL, A.S.; KING, C.W.; WEBBER, M.E; DUNCAN, I.J.; HARDBERGER, A. The Energy-Water Nexus in Texas. **Ecology and Society**, v. 16(1), n 2, 2011. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art2/>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL - SUDERHSA (Estado do Paraná). **Manual Técnico de Ourgas**. Curitiba: SUDERHSA, 2006, 107 p.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (SUDENE). **Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste – PLIRHINE**. Recife/PE: SUDENE, 1980.

TOMASELLA, J., HODNETT, M.G., ROSSATO, L. Pedo-transfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, 64, 327-338, 2000.

TRONCHONI, J.G. Pré-germinação e semeadura. In: ENCONTRO ESTADUAL DO SISTEMA PRÉ-GERMINADO EM ARROZ IRRIGADO, 1., Pelotas, 1995. **Resumos...** Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1995, p.41-45.

U.K. Environment Agency (EA-UK). **Waterwise on the Farm**: a simple guide to implementing a water management plan. UKEA: 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Cenários para a Pecuária de Corte Amazônica**. Belo Horizonte: Ed. IGC/UFGM, 2015, 146 p. Disponível em: <http://csr.ufmg.br/pecuaria/>>. Acesso em: 11 fev. 2017.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Irrigation water requirements**. Tech. Rel. n. 21, 1970.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Method for Estimating Water Withdrawals for Livestock in the United States**: 2005. [S.I.]: USGS, 2009.

VASCONCELLOS, E.B. **Levantamento dos atributos físicos e hídricos de três solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Dissertação (mestrado em Agronomia). Pelotas: UFPEL-FAEM, 1995, 120 p..

WARD D.; McKAGUE K. Water requirements of livestock. **FactsSheet**. v. 5, p. 07-23, 2007.

WEBER, L.; MARCHEZAN, E.; CARLESSO, R.; MARZARI, V. Cultivares de arroz irrigado e nutrientes na água de drenagem em diferentes sistemas de cultivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.27-33, 2003.

# Manual de Usos Consuntivos del Agua en Brasil

Apoyo:



MINISTERIO DE  
DESARROLLO REGIONAL

