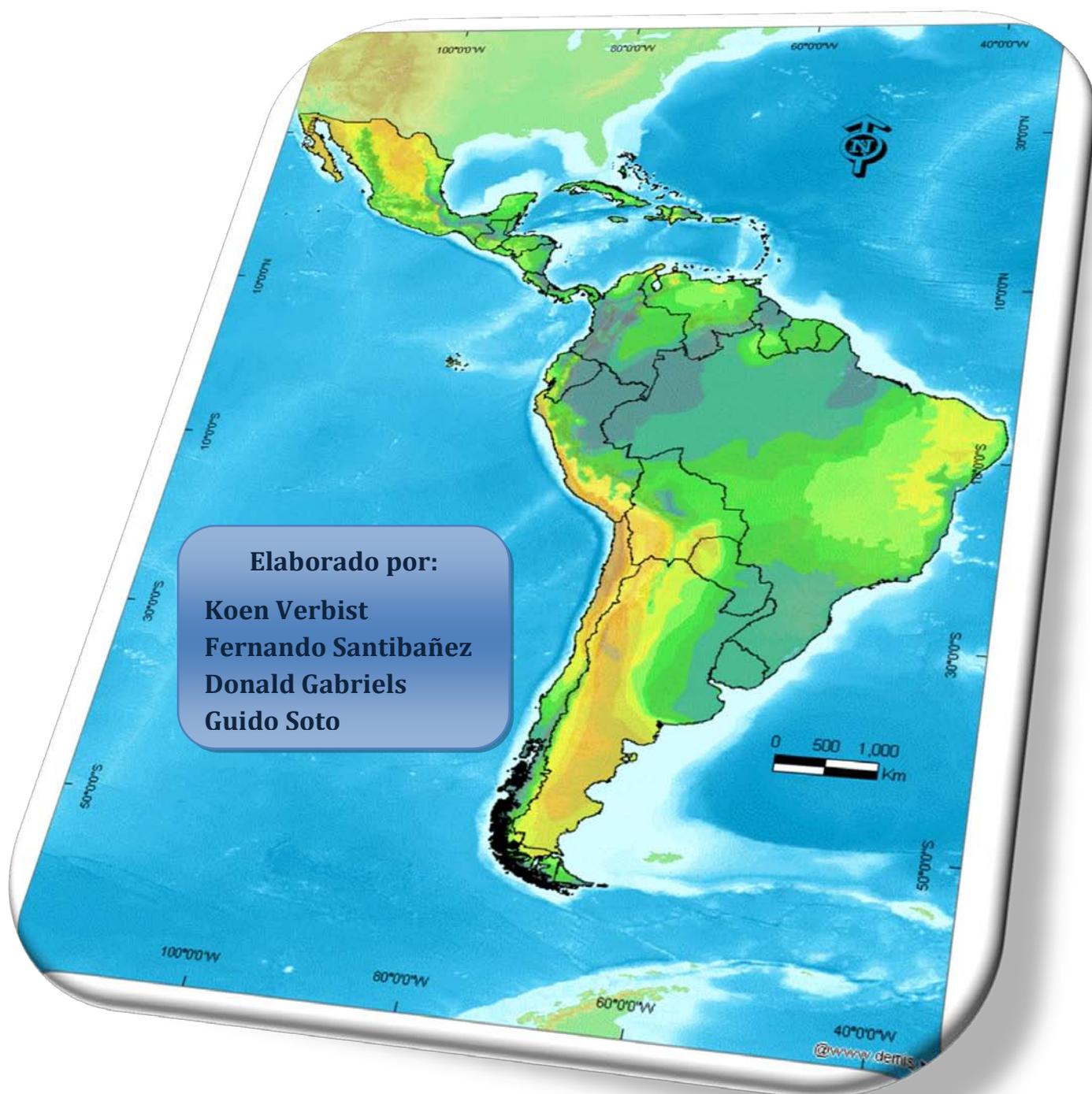


ATLAS de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe

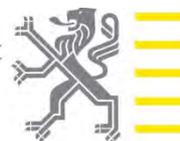


**Proyecto realizado en el marco de UNESCO-PHI y del
Gobierno de Flandes, Departamento de Ciencias e
Innovaciones**



Programa Hidrológico Internacional

Flemish government



**Proyecto Elaboración del Mapa de Zonas Áridas, Semiáridas y
Subhúmedas de América Latina y el Caribe**

Coordinadores del Proyecto

Koen Verbist, Coordinador Científico, Universidad de Gante, Bélgica

Fernando Santibáñez, Coordinador Científico, Universidad de Chile, Chile

Guido Soto, Director de CAZALAC, Chile

María Concepción Donoso, Hidróloga Regional PHI-UNESCO ALC, Montevideo, Uruguay

Donald Gabriels, Contraparte Científica Gobierno de Flandes, Bélgica

Coordinadores Subregionales

Mesoamérica: Javier Aparicio y Israel Velasco - IMTA, Mexico

Países Andinos: Deyanira Lobo - Universidad Central de Venezuela

Cono Sur: Roberto Pizarro - Universidad de Talca, Chile

Caribe: Zelmira May – UNESCO ALC, Montevideo

Mayor Información: www.cazalac.org o cazalac@cazalac.org

Versión digital del Atlas: http://www.cazalac.org/mapa_za.php

Coordinadores Nacionales

Subregión Mesoamérica

Israel Velasco - IMTA, Mexico

Ivan Jaramillo - ETESA, Panama

Luis Palacios - INETER, Nicaragua

Dania Baca - Serna, Honduras

Pedro Tax - INSIVUMEH, Guatemala

Deisy Lopez - SNET, El Salvador

Rafael Chacón - ICE, Costa Rica

Ramon Frutos - National Hydromet Service - Belice

Subregión el Caribe

Iván Rodríguez - Antigua Public Utilities Authority, Antigua

Brian Beneby - Water Quality Unit, Water and Sewerage Corporation, Bahamas

Carlyle Bourne - Ministry of Agriculture, Rural Development, Barbados

Shonel Dwyer - Water Resource Authority, Jamaica.

Jamar Regis - Water Resources Unit, Ministry of Agriculture Forestry & Fisheries, Saint Lucia

Brian Beckles - Water Resources Agency (WASA), Water and Sewerage Authority of Trinidad and Tobago

Hector Rodriguez - INDRHI, Republica Dominicana

Argelio Fernandez - CENHICA, Cuba

Subregión Países Andinos

Marelia Puche - Universidad Central de Venezuela

Yesid Carvajal - Universidad del Valle, Colombia

Carlos Lugo - INAMHI, Ecuador

Héctor Vera - Dirección de Hidrología y Rec. Hídricos del SENAMHI, Perú

Angel Aliaga - Instituto de Hidráulica e Hidrología, Bolivia

Subregión Cono Sur

Fernando Santibáñez – Universidad de Chile, Chile

María Cristina Moyano - INA, Argentina

Raúl Alberto Díaz – INTA, Argentina

Lilian Portillo - Secretaria del Ambiente, Paraguay

Alexandre Ortega - Embrapa, Brasil

Alfredo Altamirano - RENARE, Uruguay

Contenido

Introducción	1
Descripción Metodológica	2
Introducción	2
Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia	2
Indicadores de Aridez	2
Indicadores de la Variabilidad e Intensidad de Regímenes de Aridez	4
Zonación de Regímenes de Aridez	5
Resultados	7
Comparación de Métodos de Cálculo de Evaporación Potencial	7
Comparación de Índices de Aridez	8
Resumen de la Zonación de Regímenes de Aridez en América Latina y el Caribe	12
Porcentaje de zonas áridas en cada país	20
América Latina	20
El Caribe	20
Mapa de Aridez de América Latina y El Caribe	21
Mapas de Aridez por país	22
Antigua and Barbuda	22
Argentina	23
Bahamas	24
Belice	26
Bolivia	27
Brazil	28
Chile	29
Colombia	30
Costa Rica	31
Cuba	32
República Dominicana	33

Ecuador	34
El Salvador.....	35
Guatemala.....	36
Haiti.....	37
Honduras.....	38
Jamaica.....	39
Mexico.....	40
Nicaragua	41
Panama	42
Paraguay	43
Peru	44
Santa Lucía	45
Trinidad	46
Uruguay.....	47
Venezuela.....	48
Referencias.....	49

Introducción

El Atlas de Aridez de América Latina y el Caribe (ALC) muestra los resultados finales de esta iniciativa de cobertura regional, donde más que 26 países de la Región cooperaron a crear el mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de ALC. Hasta el presente, la región no contaba con los mismos indicadores sobre las disponibilidades de los recursos hídricos en todos los países, no siendo posible tener una visión precisa de las ofertas efectivas y demandas que existen, desde el punto de vista climático en cada área. Esto es especialmente relevante en aquellos países donde existen gradientes de aridez y en zonas con excedentes hídricos.

Por otro lado, es importante señalar que los procesos de desertificación están presentes en la mayor parte de los territorios con escasez hídrica, así como también de las sequías periódicas de que son objeto. Los procesos anteriores contribuyen a agravar aún más los impactos negativos de la escasez de agua que dificultan el desarrollo sostenible y la conservación de los ecosistemas asociados a estos ambientes. El hecho de contar con mayor información en este sentido permitirá un mejor análisis de cada situación en particular y tomar decisiones apropiadas a cada caso, desde el punto de vista de las inversiones y proyectos de desarrollo, así como mejorar las normas de fomento y legislativas, entre otros.

En consideración a lo anterior, el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la UNESCO, con el apoyo del gobierno de Flandes, acordó llevar adelante este proyecto con CAZALAC, que fue incluido en su Plan de Operaciones, contando con el apoyo de los Comités Nacionales y Puntos Focales del PHI de la Región de América Latina y el Caribe.

En un primer paso del proyecto, se coordinó una extensa compilación de información climática por parte de los países de la región, con el objetivo de homogenizar las bases de datos necesarios para la creación de mapas. A través de talleres subregionales guiados por sus 4 subcoordinadores, los participantes nacionales fueron entrenados en la metodología y el software creado para este proyecto.

En el periodo posterior, los mapas nacionales creados fueron evaluados por los países, a veces con una amplia representación de institutos y representantes nacionales, llegando a mapas de consenso por parte de los países de la Región. Por lo tanto, podemos presentar en este Atlas el primer Mapa de Aridez que cubre el área completa de América Latina y el Caribe usando los mismos criterios de evaluación.

En esta oportunidad, expresamos nuestra gratitud a todos los participantes en todos los procesos del proyecto, por haber apoyado esta importante iniciativa, que ya a ha sido y sin duda será un punto de partida para nuevos proyectos de alcance regional.

Descripción Metodológica

Introducción

Dentro del marco del proyecto, se elaboró una metodología unificada aplicable a todas las subregiones de América Latina y el Caribe. Dos tipos de análisis están incorporados: un análisis de datos climatológicos, usando datos promedios de periodos normales (de 30 años) y un análisis de variaciones temporales, usando series históricas de precipitaciones.

El proceso de trabajo se descompuso en la colección de datos climatológicos y series de precipitaciones y su transformación a un formato compatible con el software CIRH (Agrimed, Universidad de Chile), 'Sistema de Cálculo de Índices del Régimen Hídrico' ,desarrollado específicamente para este proyecto, el cual calcula automáticamente una diversidad de indicadores de régimen de aridez, incluyendo, entre otros, la Evapotranspiración, el Déficit y el Excedente Hídrico (DH y EH), el Índice de Concentración de Precipitación (ICP) y el Índice de Fournier Modificado (IFM).

La metodología aplicada se describe con más detalle en Lobo et al. (2005), que está libremente disponible en el sitio web de CAZALAC, junto con el software CIRH, en la dirección http://www.cazalac.org/mapa_alc_guia.php.

Cálculo de la Evapotranspiración de Referencia

La evapotranspiración es calculada a partir de la fórmula de Penman-Montheith (Eq.1), que necesita datos de temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad de viento.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

Eq. 1

donde ET_0 evapotranspiración de referencia [mm día^{-1}], R_n radiación neta en la superficie del cultivo [$\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$], G densidad de Flujo de calor en el suelo [$\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$], T temperatura del aire media diaria a 2 m altura [$^{\circ}\text{C}$], u_2 velocidad del viento a 2 m altura [m s^{-1}], e_s presión de vapor de saturación [kPa], e_a presión de vapor actual [kPa], $e_s - e_a$ déficit de presión de vapor de saturación [kPa], Δ pendiente de la curva de presión de vapor de saturación en función de la temperatura [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$], γ coeficiente psicrométrico [$\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$].

Para asegurar la estimación correcta de la evapotranspiración promedio mensual, se utilizan datos climáticos para un periodo de 30 años (1970-2000). Sin embargo, el software desarrollado permite usar estaciones con datos faltantes, usando otras formulas como los de Ivanov, Turc o Thornthwaite. En todos los casos, el CIRH permite calibrar estas fórmulas con referencia a la ecuación de Penman-Monteith.

Indicadores de Aridez

Se aplicó el CIRH a todas las estaciones meteorológicas en la Región de modo de contar con una evaluación unificada de los índices en toda la Región. El primer indicador calculado es el Índice de Aridez (IA), adoptado por el UNEP (1997),

$$I_a = \frac{P_a}{ET_0}$$

Eq. 2

donde P_a es la precipitación anual y ET_0 la evapotranspiración de referencia anual. La relación precipitación con evapotranspiración define 6 clases de aridez:

Definición	Ratio P_a/ET_0
Hiperárida	<0.05
Árida	0.05 to 0.20
Semiárida	0.20 to 0.5
Subhúmeda seca	0.5 to 0.65
Subhúmeda húmeda	0.65 to 1.0
Húmeda	>1

Considerando que la aridez tiene múltiples facetas, el simple cociente P/ET no representa realmente el tipo y la intensidad de la aridez de un lugar. Por ello se incluyó complementariamente una evaluación del déficit (DH) y el excedente hídrico (EH).

$$DH = \sum_1^{12} (ET_0 - P)$$

Eq. 3

$$EH = \sum_1^{12} (P - ET_0)$$

Eq. 4

donde ET_0 es la evapotranspiración de referencia mensual (mm) y P es la precipitación mensual (mm).

Un aspecto de mayor relevancia aún, tanto para la agricultura como para la conservación de un ecosistema, es la estacionalidad de la temporada seca. Por esta razón, se incluyó un análisis de los periodos secos y húmedos dentro del año. Para esto se propuso como un *mes seco* si

$$\frac{P_a}{ET_0} < 0.5$$

Eq. 5

a nivel mensual. La longitud del periodo seco corresponde al número de meses en el año que cumplen esta condición.

El Régimen de Aridez (RA) o Régimen Hídrico se establece según la escala siguiente:

Régimen de Aridez	Condiciones
Xerico	12 meses secos e $I_a < 0.05$
Hiper Árido	11 – 12 meses secos
Árido	9 – 10 meses secos
Semiárido	7 – 8 meses secos
Subhúmedo	5 – 6 meses secos
Húmedo	3 – 4 meses secos
Hiper Húmedo	1 – 3 meses secos
Hídrico	0 meses secos y $P_a < 2500$ mm
Hiper Hídrico	0 meses secos y $P_a > 2500$ mm

Uno de los factores que dificultan iniciativas como esta, es la escasa disponibilidad de datos en zonas áridas, además de una falta de observaciones de campo para validar los cálculos de la evapotranspiración de referencia. También cabe destacar que los límites entre zonas agroclimatológicas son graduales, convirtiendo la delimitación de las zonas en un proceso más bien convencional.

Indicadores de la Variabilidad e Intensidad de Regímenes de Aridez

1. Índice de Fournier Modificado (IFM)

En zonas áridas, la precipitación está caracterizada por la ocurrencia de lluvias cortas con alta intensidad. Después una temporada seca, la precipitación ejerce una fuerza importante sobre el suelo causando procesos erosivos, debido a la baja cobertura de la vegetación y a la sequedad del suelo. La intensidad de las pérdidas erosivas depende de la energía de la precipitación y la duración de la temporada seca. Para cuantificar indirectamente esta relación, Fournier (1960) propuso un índice basado en una distribución anual y mensual de la precipitación, que fue adaptado por Arnoldus (1980).

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P_a}$$

Eq. 6

donde p_i es la precipitación mensual (mm) y P_a es la precipitación anual (mm).

Este índice está asociado con la capacidad de la precipitación de provocar erosión hídrica. Por lo tanto, se llama también Índice de Agresividad Climática.

IFM	Agresividad Climática
0 – 60	Muy baja
60 - 90	Baja
90 – 120	Moderada
120-160	Alta
> 160	Muy alta

2. Índice de la Concentración de Precipitación (ICP)

Este índice permite evaluar la distribución de la lluvia a lo largo del año, define la estacionalidad de las lluvias. Bajo condiciones de precipitaciones concentradas se complica el manejo de agua, el control de riego, la prevención de erosión hídrica y la agricultura de secano.

Para el cálculo de este índice se procede de la forma siguiente:

$$PCI = 100 \frac{\sum p_i^2}{P_a^2}$$

Eq. 7

donde p_i es la precipitación mensual (mm) y P_a es la precipitación anual (mm).

PCI	Concentración de Precipitación
8.3 – 10	Uniforme
10 – 15	Moderadamente estacional
15 – 20	Estacional
20 – 50	Altamente estacional
50 – 100	Irregular

Zonación de Regímenes de Aridez

Para la formación de las zonas de los distintos regímenes de aridez, se calcula en un primer paso la evapotranspiración para todas las estaciones climatológicas que cuentan con datos. En aquellas que disponen de temperatura, humedad, radiación y viento, se aplica directamente el método de Penman-Monteith. En estas estaciones se aplican además otras formulas simples como la de Thornthwaite, Ivanov o Turc, las cuales se pueden calibrar a través de regresiones, teniendo como referencia el método de Penman-Monteith, como indicado más adelante.

Finalmente, se aplicó el CIRH usando los datos climatológicos de 5946 estaciones adquiridos en la Región de América Latina y El Caribe (Fig. 1), para obtener los resultados de la evapotranspiración de referencia y los indicadores de aridez, con que se creó una base de datos en ArcGIS (ESRI, California, EEUU) de modo de hacer una interpolación preliminar. El mapa resultante fue sometido a una depuración manual, lo que permitió corregir las inconsistencias cartográficas generadas por la interpolación automatizada. Solamente así se puede incorporar efectos de “sombra de lluvia”, que se produce a sotavento en las montañas por efecto del descenso de las masas de aire en estos sectores. El trazado de isólinas se realizó sobre mapas de relieve de modo que el trazador pueda interpretar las variaciones espaciales que estas sufren por acción del relieve.

Por cada país de la Región, esta versión del mapa fue enviado a todos los coordinadores nacionales para su evaluación interna con la petición de proponer cambios cuando se dispuso de información adicional no considerado en la elaboración del mapa. Cada cambio propuesta fue adaptado en el mapa preliminar para obtener una versión mejorado.

Finalmente, se realizó una serie de talleres nacionales en los países participantes de este proyecto donde necesario, para presentar el mapa creado y contrastarlo con información local adicional que podría mejorar los mapas de zonas áridas, subhúmedas y húmedas. A través de un proceso interactivo con todos los participantes de los talleres, un mapa final de consenso fue destilado y retenido como versión final.

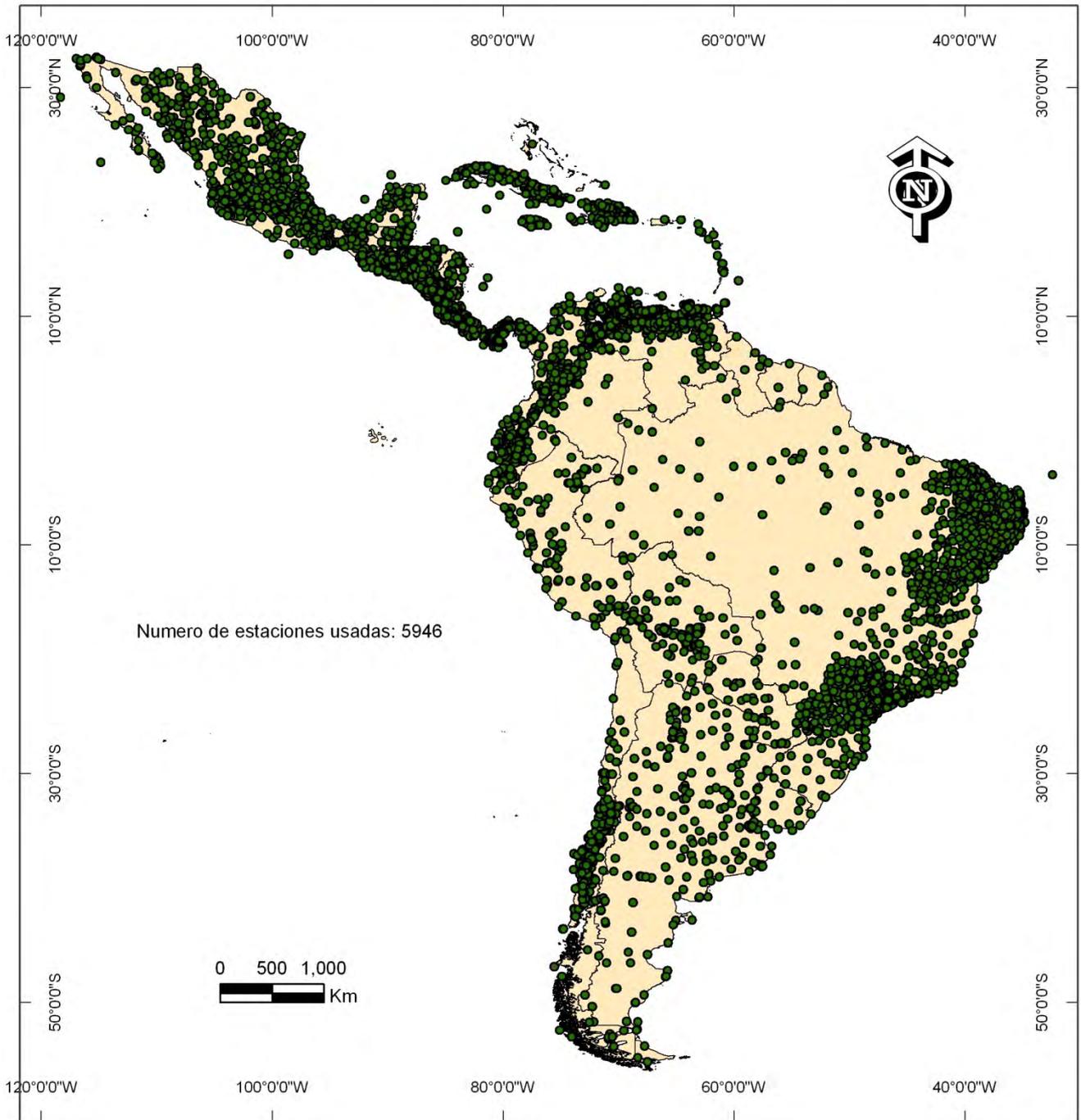


Fig. 1 Estaciones meteorológicas usadas en la elaboración del Mapa de Aridez de América Latina y el Caribe

Resultados

Comparación de Métodos de Cálculo de Evaporación Potencial

Los indicadores de aridez utilizan valores mensuales o anuales para calcular el déficit anual o mensual pluviométrica. Asimismo, resulta muy importante la elección de la fórmula de evapotranspiración. La elaboración de los mapas nacionales ha sido realizada con la fórmula de Penman-Monteith (Eq.1), pero fue comparado en Fig. 2 con otras alternativas para 799 estaciones en la Region de América Latina y el Caribe. Se muestra claramente una desviación entre la fórmula de Penman-Monteith y las fórmulas de Ivanov (panel c) y Thornthwaite (d), con diferencias en promedio de 3.3 y 5.3 mm mes⁻¹ respectivamente y un error cuadrático medio que indica una desviación de la línea de perfecta coincidencia. Las estimaciones de ET₀ con las fórmulas de Monteith Original (a) y Turc (b) son más cercano a la fórmula de Penman-Monteith, con correlaciones altas (0.98 y 0.87) y desviaciones en promedio alrededor de 2 mm mes⁻¹ y muestran un bias muy reducido. La ecuación de Turc también ha sido encontrado el mejor alternativo para evaluar ET por varios investigadores en casos donde la disponibilidad de datos es limitante (Jensen et al., 1990; Lu et al., 2005; Martinez and Thepadia, 2010). Como consecuencia, se ha optado en este proyecto usar Penman-Monteith en todas las estaciones, y aceptar el uso de la ecuación de Turc donde la información climática fue incompleta.

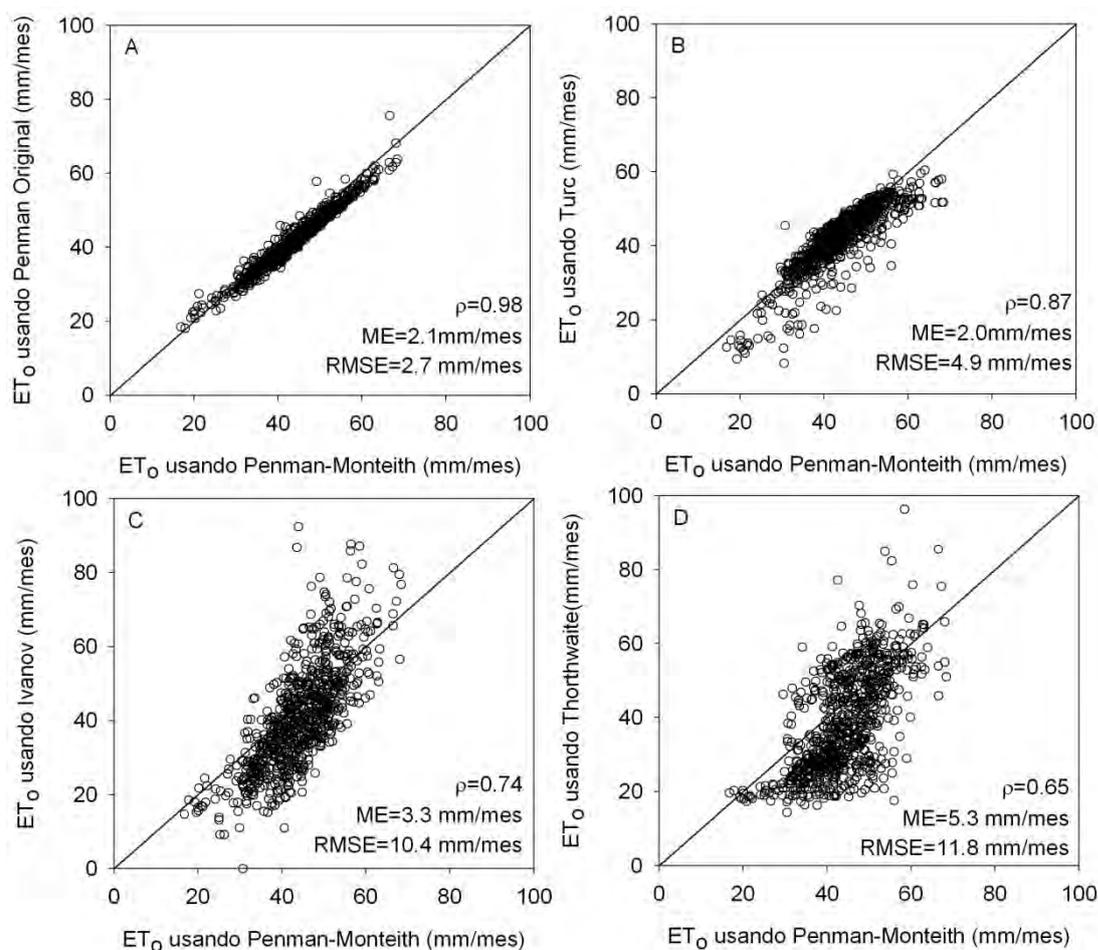


Fig. 2 Comparación entre la evapotranspiración de referencia usando Penman-Monteith (Eq.1), y las ecuaciones simplificadas: Turc, Ivanov y Thornthwaite, con sus respectivos coeficientes de correlación de Pearson (ρ), error medio (ME) y error cuadrático medio (RMSE), para las 799 estaciones en la base de datos de FAO (1984).

Comparación de Índices de Aridez

Como se mencionó en la sección de la metodología, existen varios métodos para delimitar zonas áridas. En este proyecto se consideran dos índices: el Índice de Aridez de UNEP (1997) y el Régimen de Aridez calculado sobre la base de extensión del periodo seco. El primer indicador incluye sólo valores anuales de precipitación y evapotranspiración, sin incorporar el efecto de la estacionalidad, enmascarando las sequías estacionales. El segundo considera la repartición de la evapotranspiración y la precipitación a nivel mensual por lo que da resultados más representativos de la realidad.

La Fig. 3 muestra una comparación de los dos índices para 799 estaciones distribuidas en la región de América Latina y el Caribe (FAO, 1984).

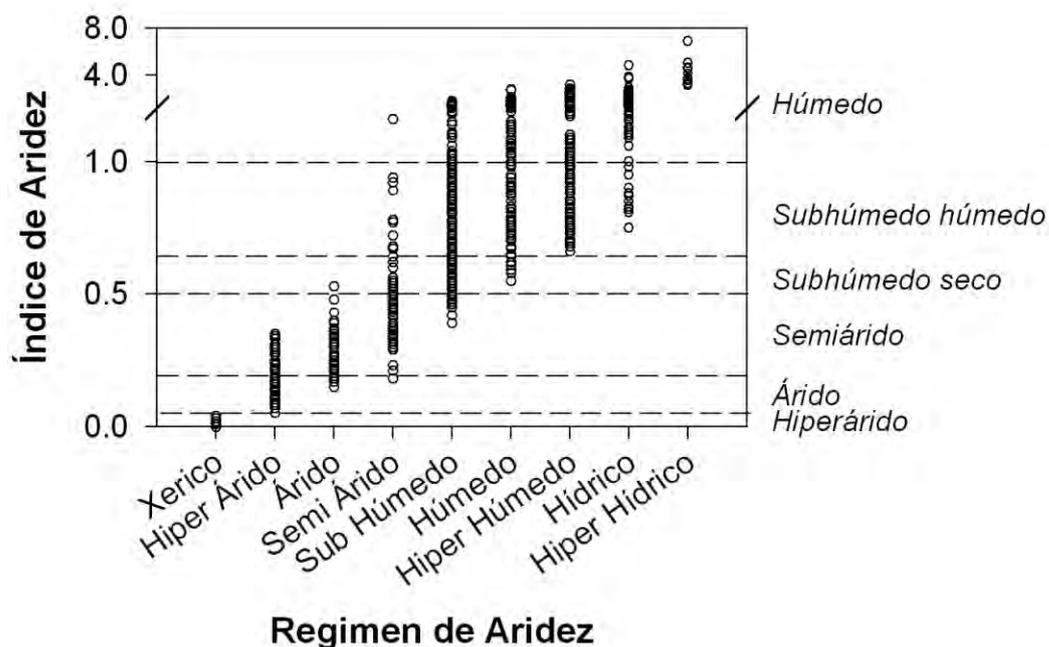


Fig. 3 Comparación de dos indicadores de aridez (n = 799)

En climas muy áridos y muy húmedos se produce coincidencia entre ambos indicadores, mientras que en los regímenes transicionales se observa una importante discrepancia.

Un ejemplo de este comportamiento se observa en la estación ‘El Milagro’ en Ecuador, por lo que se muestran los datos respectivos (Fig. 4 y Fig. 5).

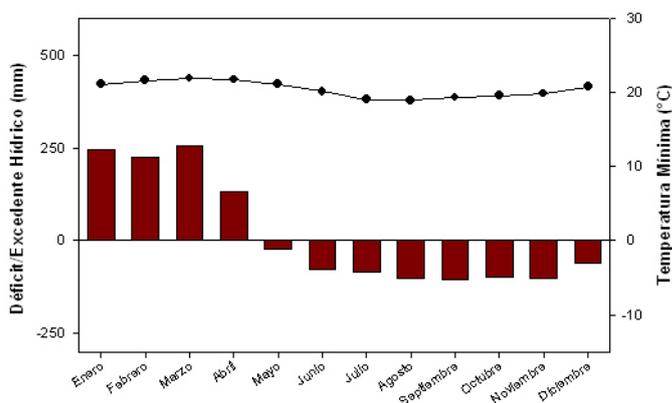


Fig. 4 Déficit (-) o excedente (+) hídrico promedio y la temperatura mínima de la estación meteorológica 'El Milagro' (Ecuador)

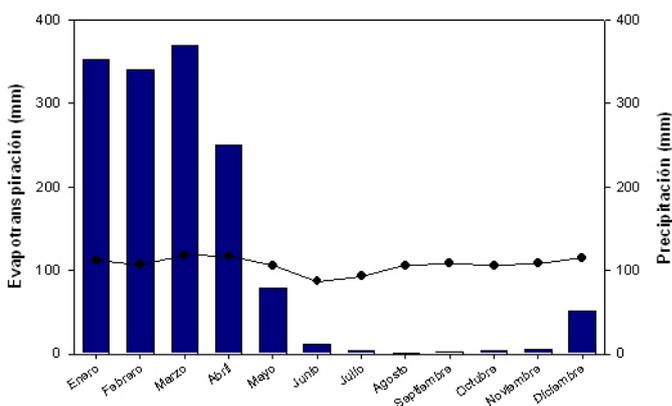


Fig. 5 Evapotranspiración y precipitación promedio en 'El Milagro' (Ecuador)

Estos gráficos muestran una gran estacionalidad de las lluvias, causado por una temporada húmeda corta y un periodo seco más largo. Esta situación es especialmente importante debido a la alta temperatura, con un mínimo de 20 °C durante todo el año, causando una alta evapotranspiración.

El Índice de Aridez compara solamente el valor anual de la evapotranspiración con la precipitación total, clasificando este punto como Húmedo. Al contrario, el Régimen de Aridez depende de los meses con déficit hídrico, clasificando la misma estación como Semiárido, atendiendo a que se observa una estación seca de 8 meses. Una situación similar fue encontrada en la estación Barras, en Brasil, donde el Índice de Aridez indica una condición Subhúmeda Seca, aunque el Régimen de Aridez es Árido. Para este caso, también se encuentra una situación en la cual la alta temperatura estimula la evapotranspiración, junto con una fuerte estacionalidad de la precipitación, resultando en un periodo seco importante. En otras 11 estaciones con alta estacionalidad de las precipitaciones, se produjo una disociación entre la clasificación como Semiárido según el Régimen de Aridez y Subhúmeda húmeda según el índice de Aridez.

Estos casos muestran que el régimen de aridez basado en la longitud de la estación seca es un mejor indicador para delinear zonas agroclimatológicas, porque toma en cuenta la distribución del déficit hídrico a lo largo del año. Por otro lado, ambos índices muestran una gran variabilidad en las condiciones intermedias, indicando una debilidad en su clasificación. Por lo tanto, es importante de incorporar una mayor cantidad de datos en el análisis de las zonas, como la temperatura mínima, la altura, y la estacionalidad de la aridez a lo largo del año.

En Fig. 4 se presenta la comparación espacial de los dos sistemas de evolución de la aridez. Para efectos de comparación se agrupan las clases en dos grandes grupos, delimitado por el valor crítico de cada índice que separa los límites de climas áridos de los húmedos:

Clase según el Régimen de Aridez	Grupo	Clase según el Índice de Aridez
Xerico Hiper Árido Árido Semiárido Subhúmedo	Árido	Hiperárido Árido Semiárido Subhúmedo Seco
<i>RH = 4 meses secos</i>		<i>I_a = 0.65</i>
Húmedo Hiper Húmedo Hídrico Hiper Hídrico	Húmedo	Subhúmedo Húmedo Húmedo

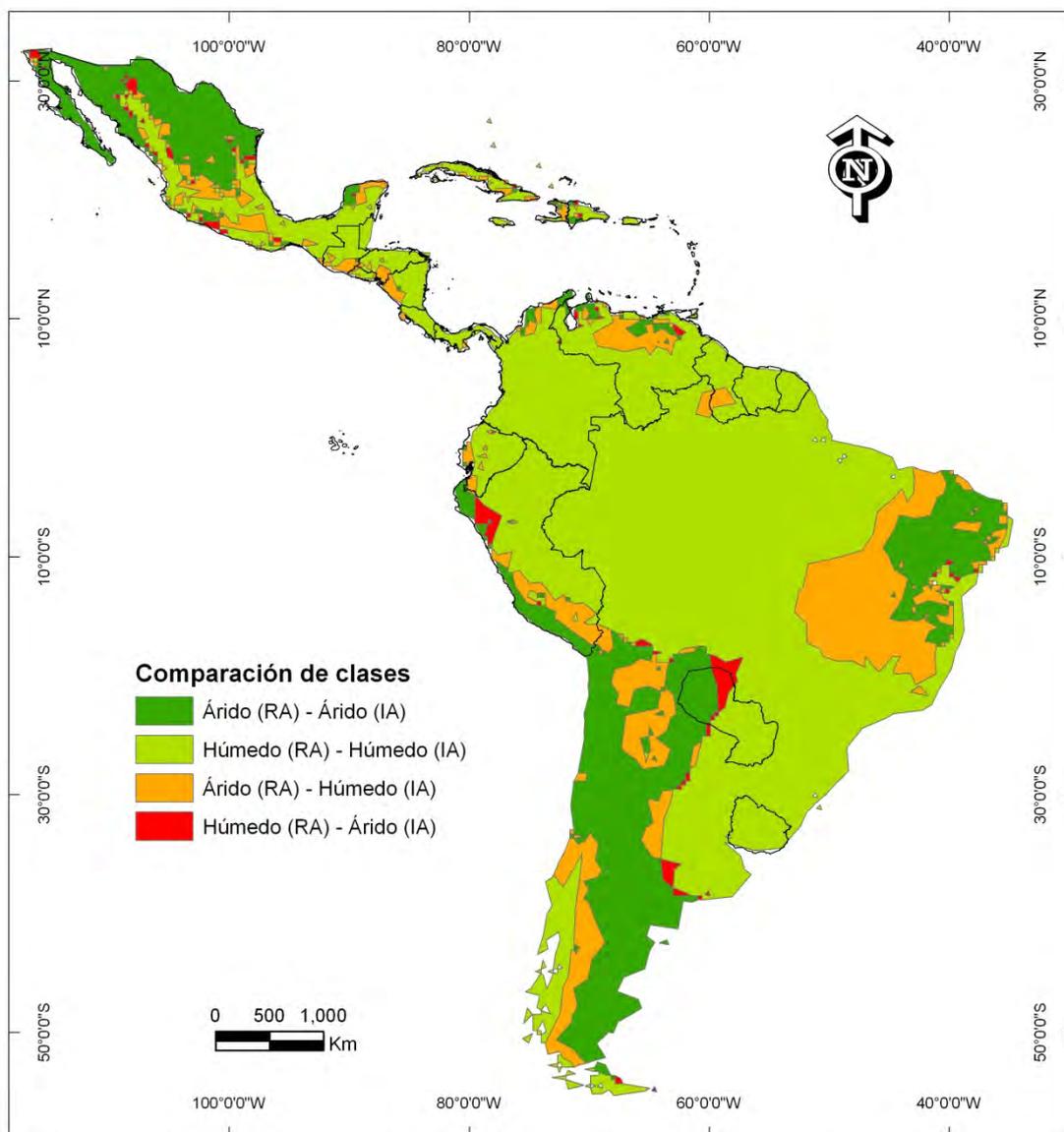


Fig. 6 Clasificación de las diferencias y coincidencias observadas entre el grupo climático según el índice de Áridex (IA - Eq.2) y el régimen de aridez (RA – Eq.5) basado en la longitud de la estación seca.

Se puede observar que en gran parte de la Región existe una coincidencia en la distribución del grupo de climas áridos según el Índice de Aridez y el Régimen de Aridez definido según la longitud de la estación seca. Lo mismo se observa en el caso del grupo de climas húmedos. Sin embargo, grandes superficies están clasificadas como Húmedos según el el Índice de Aridez y como Áridos según el Régimen de Aridez, que es el caso en la zona central de México, el norte de Venezuela, la zona de Brasilia, en Brasil, y la zona central de Chile. Todas estas zonas están ubicadas en zonas transicionales, donde la aridez evoluciona hacia climas más húmedos. Por lo tanto, esta comparación espacial muestra que el uso del Régimen de Aridez como divisor de zonas áridas es más realista que el Índice de Aridez de UNEP.

Resumen de la Zonación de Regímenes de Aridez en América Latina y el Caribe

Regímen de Aridez	Índice de Aridez (UNEP)	Numero de meses secos	Precipitación anual	Déficit Hídrico	Excedente Hídrico	IFM	ICP
Xerico	0 – 0.04	12	0 – 80	-1100 – -1960	0	0 – 30	0 – 100
Hiper Árido	0.05 – 0.35	11 – 12	80 – 660	-700 – -1800	0	10 – 80	9 – 30
Árido	0.15 – 0.73	9 – 10	190 – 960	-770 – -1700	0 – 290	20 – 540	9 – 50
Semiárido	0.18 – 1.16	7 – 8	220 – 1640	-450 – -1600	0 – 920	20 – 790	9 – 50
Subhúmedo	0.39 – 1.74	5 – 6	380 – 2830	-300 – -1220	0 – 1790	30 – 450	9 – 20
Húmedo	0.55 – 2.78	3 – 4	520 – 4310	-250 – -780	0 – 3260	45 – 490	9 – 15
Hiper Húmedo	0.66 – 3.15	1 – 3	820 – 4570	-100 – -630	0 – 3400	75 – 600	9 – 13
Hídrico	0.75 – 4.81	0	640 – 3830	0 – -420	20 – 2400	55 – 420	9 – 13
Hiper Hídrico	3.14 – 6.86	0	3800 – 7220	0 – -70	2620 – 5630	320 – 700	9 – 10

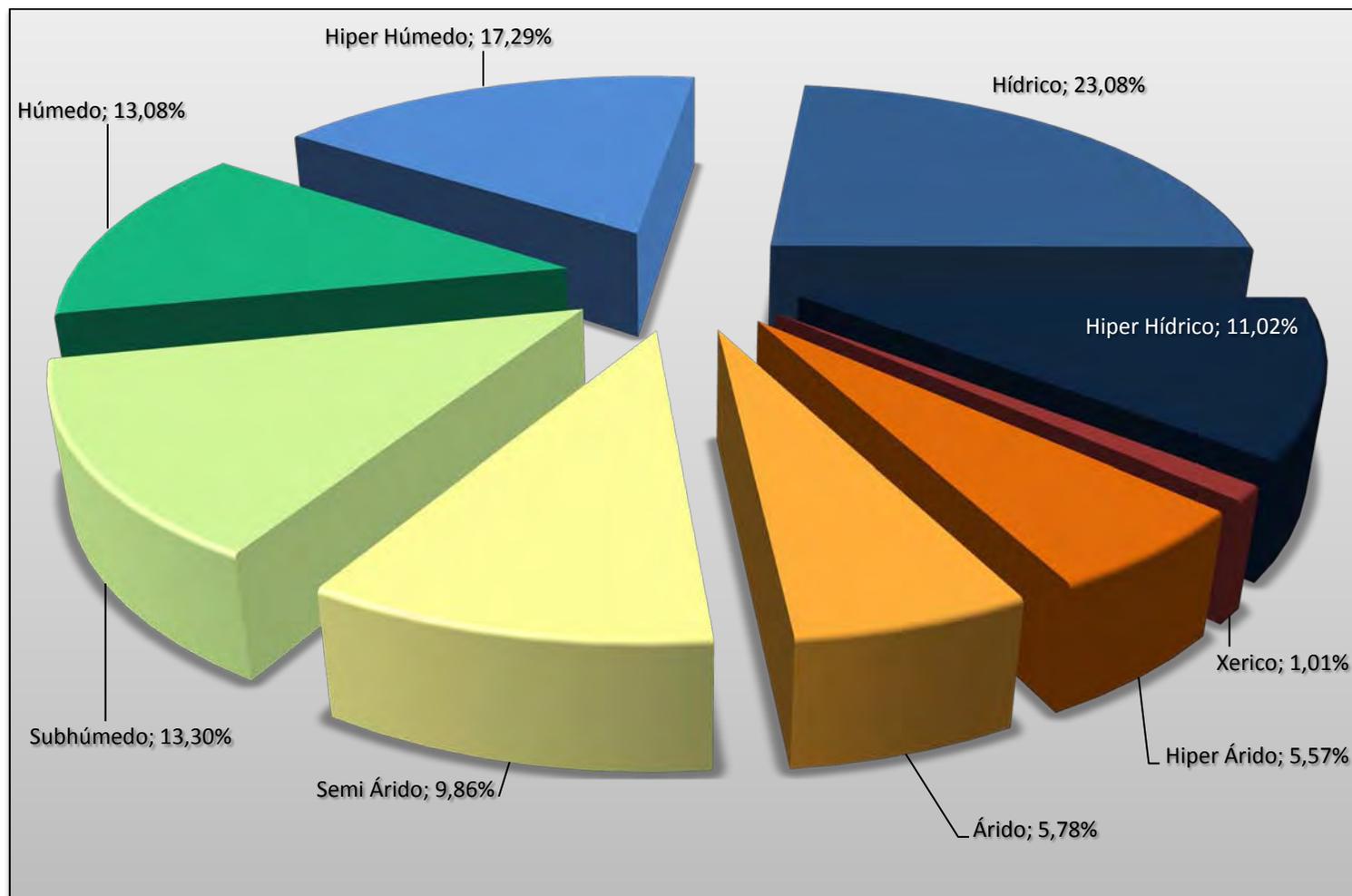


Fig. 7 Porcentaje de la superficie de cada clase del Régimen de Aridez en América Latina y el Caribe

Porcentaje de la superficie de cada clase del Régimen de Aridez por país

Régimen de Aridez	Aguilla	Antigua y Barbuda	Argentina	Aruba	Bahamas	Barbados	Belize	Bolivia	Brazil	British Virgin Islands	Chile
Xerico			1%					0%			18%
Hiper Árido			21%					1%			8%
Árido			17%	100%				17%	0%		13%
Semiárido	100%	11%	18%		14%			13%	8%	30%	13%
Subhúmedo		66%	10%		10%	100%		8%	17%	20%	8%
Húmedo		19%	7%		47%		3%	34%	13%	26%	9%
Hiper Húmedo		4%	10%		29%		50%	18%	16%	25%	8%
Hídrico			13%				46%	8%	36%		9%
Hiper Hídrico			0%					1%	10%		15%

Régimen de Aridez	Colombia	Costa Rica	Cuba	Dominica	Dominican Republic	Ecuador	El Salvador	French Guyana	Grenada	Guadeloupe	Guatemala
Xerico										0%	0%
Hiper Árido	0%				0%	0%				0%	0%
Árido	1%		0%		3%	2%				0%	0%
Semiárido	1%		1%		17%	7%	1%			4%	2%
Subhúmedo	3%	14%	20%		14%	13%	33%			21%	23%
Húmedo	3%	12%	43%		9%	14%	67%			13%	10%
Hiper Húmedo	31%	23%	24%	100%	18%	11%		100%		61%	27%
Hídrico	24%	10%	10%		16%	10%		0%	100%	0%	27%
Hiper Hídrico	36%	41%			23%	42%				0%	11%

Régimen de Aridez	Guyana	Haiti	Honduras	Jamaica	Martinique	Mexico	Netherlands Antilles	Nicaragua	Panama	Paraguay	Peru
Xerico										0%	3%
Hiper Árido						18%				3%	8%
Árido		0%				14%	95%			13%	4%
Semiárido		5%		7%		19%	5%			12%	11%
Subhúmedo	13%	48%	22%	3%		14%		26%	6%	6%	4%
Húmedo	19%	16%	15%	6%		15%		5%	8%	11%	8%
Hiper	11%	29%	42%	23%	100%	13%		40%	66%	15%	18%
Hídrico	20%	1%	20%	49%		5%		15%	6%	40%	9%
Hiper Hídrico	37%		2%	13%		2%		13%	14%		35%

Régimen de Aridez	Puerto Rico	Saint Kitts and Nevis	Saint Vincent and the Grenadines	Santa Lucia	Suriname	Trinidad and Tobago	Turks and Caicos Islands	Uruguay	Venezuela	Virgin Islands
Xerico										
Hiper Árido									0%	
Árido							5%		1%	
Semiárido							95%		3%	
Subhúmedo		30%							22%	
Húmedo		30%		4%	2%				24%	65%
Hiper	86%	40%		24%	93%	100%			24%	35%
Hídrico	14%		7%	33%	5%			100%	12%	
Hiper Hídrico			93%	38%					13%	

Superficie (ha) de cada clase del Régimen de Aridez de América Latina y el Caribe

Régimen de Aridez	Aguilla	Antigua y Barbuda	Argentina	Aruba	Bahamas	Barbados	Belize	Bolivia	Brazil	British Virgin	Chile
Xerico			3656498					26652			13138810
Hiper Árido			59750059					664163			5603167
Árido			48474324	11306				18107097	2316888		9347902
Semiárido	5913	5046	51205243		185676			13773360	64211062	3263	9479217
Subhúmedo		29175	28980499		134343	43606		8484039	147592019	2167	6030031
Húmedo		8304	20401761		619433		75833	37372490	114950301	2863	6435214
Hiper Húmedo		1617	28903260		387909		1108955	20071779	134529255	2702	6225434
Hídrico			36310617				1021777	8961664	306255769		6846804
Hiper Hídrico			328982					1437265	84823621		11535895

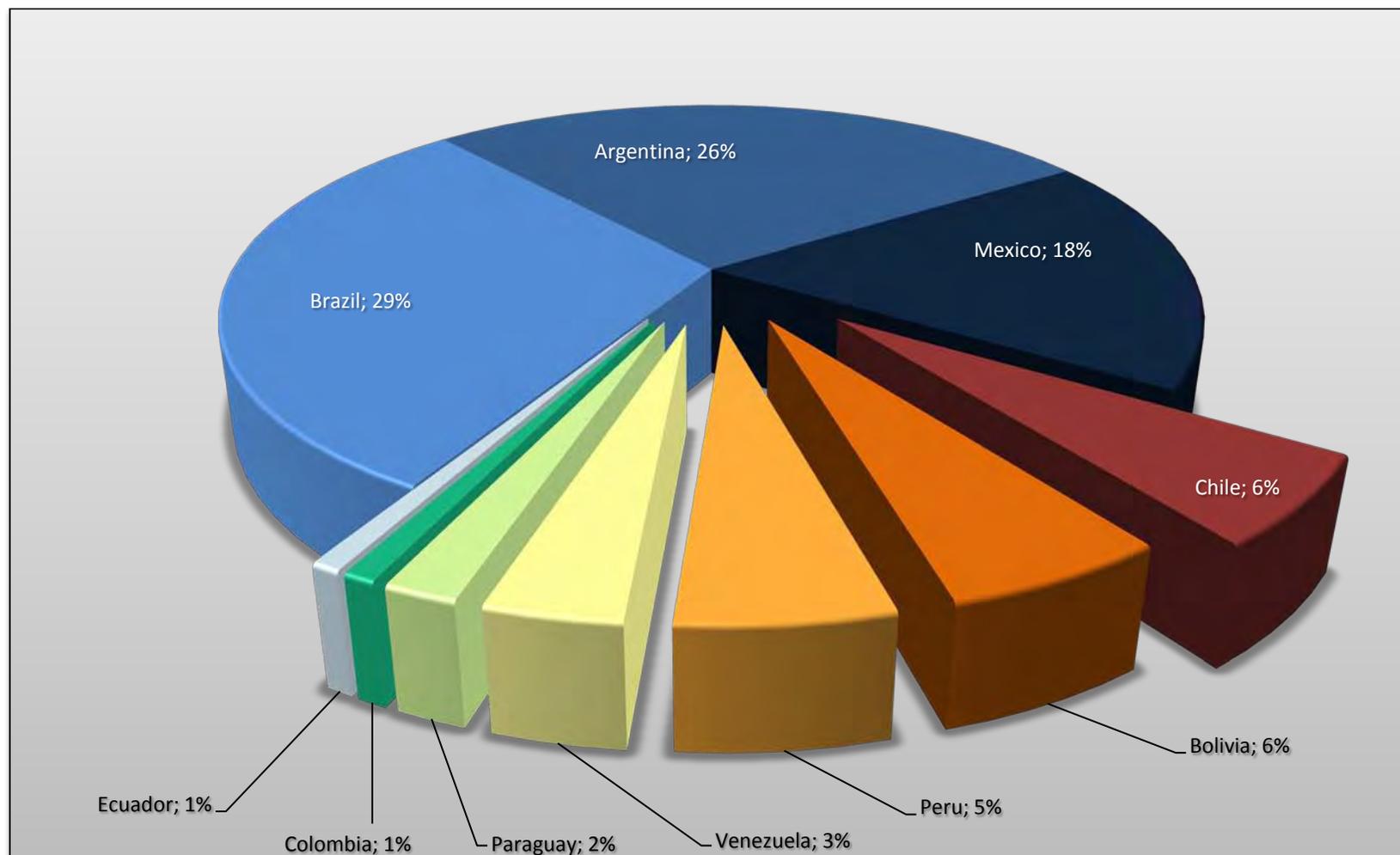
Régimen de Aridez	Colombia	Costa Rica	Cuba	Dominica	Dominican Republic	Ecuador	El Salvador	French Guyana	Grenada	Guadeloupe	Guatemala
Xerico											
Hiper Árido	364327				14053	40458					
Árido	756254		9487		140257	410086					
Semiárido	905350		1451		805072	184052	12139			6894	187732
Subhúmedo	3919494	742252	2213		661088	321774	676772			34768	2533931
Húmedo	3796580	592428	4684		424548	353336	1373349			22341	1042343
Hiper Húmedo	34917891	1198075	2633	71528	866039	279426		8338203		102172	2992305
Hídrico	27893788	518191	1126		773679	255413		16766	34635		2996453
Hiper Hídrico	41646721	2086883			1127292	105034					1205566

Régimen de Aridez	Guyana	Haiti	Honduras	Jamaica	Martinique	Mexico	Netherlands Antilles	Nicaragua	Panama	Paraguay	Peru
Xerico										174643	3719958
Hiper Árido						35480266				1070545	1065734
Árido		12973				28067266	67263			5064491	4577402
Semiárido		136102		73733		37430127	3211			4708110	1394906
Subhúmedo	2783483	129418	2427662	33311		27071767		3360427	483741	2504681	5666392
Húmedo	4045544	439135	1631488	69057		28684100		693362	597305	4548428	1063341
Hiper	2288435	784742	4712701	247088	207145	24615836		5149464	4917013	6111640	2337606
Hídrico	4143213	27764	2193323	532738		10719454		1927397	432483	15855978	1214794
Hiper Hídrico	7858128		235582	140616		3439035		1690468	1038197		4499789

Régimen de Aridez	Puerto Rico	Saint Kitts and Nevis	Saint Vincent and the Grenadines	Santa Lucia	Suriname	Trinidad and Tobago	Turks and Caicos Islands	Uruguay	Venezuela	Virgin Islands
Xerico										
Hiper Árido									395650	
Árido							1755		1166328	
Semiárido							34203		2942196	
Subhúmedo		7363							20271131	
Húmedo		7218		2668	308956				22465175	18776
Hiper	764445	9759		14945	13669908	515379			21963903	10264
Hídrico	124104		2845	20622	695382			17703839	11182482	
Hiper Hídrico			35578	23370					11612506	

País	% Zonas Áridas ¹	% de la Superficie Total de Zonas Áridas en ALC	Superficie (km ²)
Brazil	25%	29%	2141200
Argentina	69%	26%	1920666
Mexico	65%	18%	1280494
Chile	58%	6%	435991
Bolivia	38%	6%	410553
Peru	30%	5%	385702
Venezuela	27%	3%	247753
Paraguay	34%	2%	135225
Colombia	5%	1%	59454
Ecuador	22%	1%	55088
Nicaragua	26%	0%	33604
Guyana	13%	0%	27835
Guatemala	25%	0%	27217
Honduras	22%	0%	24277
Cuba	22%	0%	23681
Dominican Republic	34%	0%	16205
Haiti	54%	0%	14433
Costa Rica	14%	0%	7423
El Salvador	33%	0%	6889
Panama	6%	0%	4837
Bahamas	24%	0%	3200
Jamaica	10%	0%	1070
Netherlands Antilles	100%	0%	705
Barbados	100%	0%	425
Guadeloupe	25%	0%	417
Turks and Caicos	100%	0%	360
Antigua and Barbuda	78%	0%	342
Aruba	100%	0%	113
Saint Kitts and Nevis	30%	0%	74
Aguilla Island	100%	0%	59
British Virgin Islands	49%	0%	54
Belize	0%	0%	0
Dominica	0%	0%	0
French Guyana	0%	0%	0
Grenada	0%	0%	0
Martinique	0%	0%	0
Puerto Rico	0%	0%	0
Saint Vincent and the	0%	0%	0
Santa Lucia	0%	0%	0
Suriname	0%	0%	0
Trinidad and Tobago	0%	0%	0
Uruguay	0%	0%	0
Total		100.00%	7279053

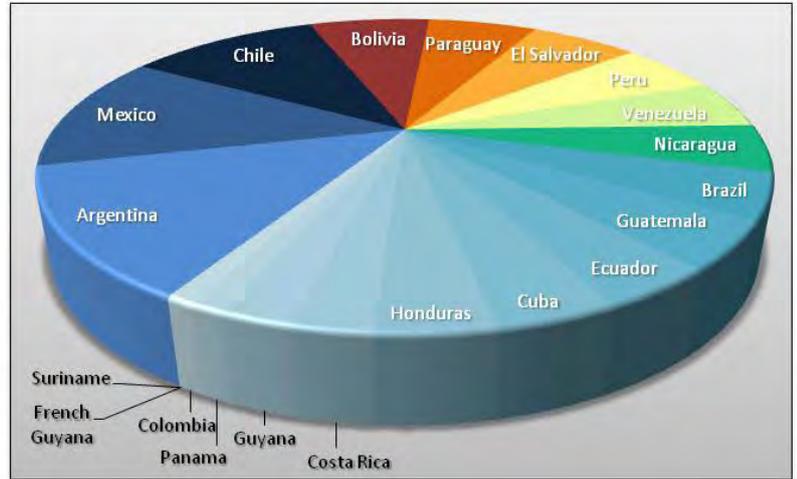
Países de América Latina y el Caribe con zonas áridas importantes (>1% de superficie de ALC)



Porcentaje de zonas áridas¹ en cada país

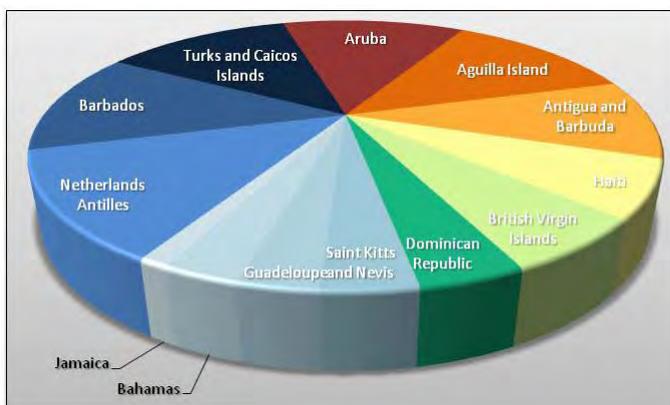
América Latina

País	% Zonas Áridas
Argentina	69%
México	65%
Chile	58%
Bolivia	38%
Paraguay	34%
El Salvador	100%
Perú	30%
Venezuela	27%
Nicaragua	26%
Brazil	25%
Guatemala	25%
Ecuador	22%
Cuba	22%
Honduras	22%
Costa Rica	14%
Guyana	13%
Panamá	6%
Colombia	5%
French	0%
Suriname	0%
Uruguay	0%
Belize	0%



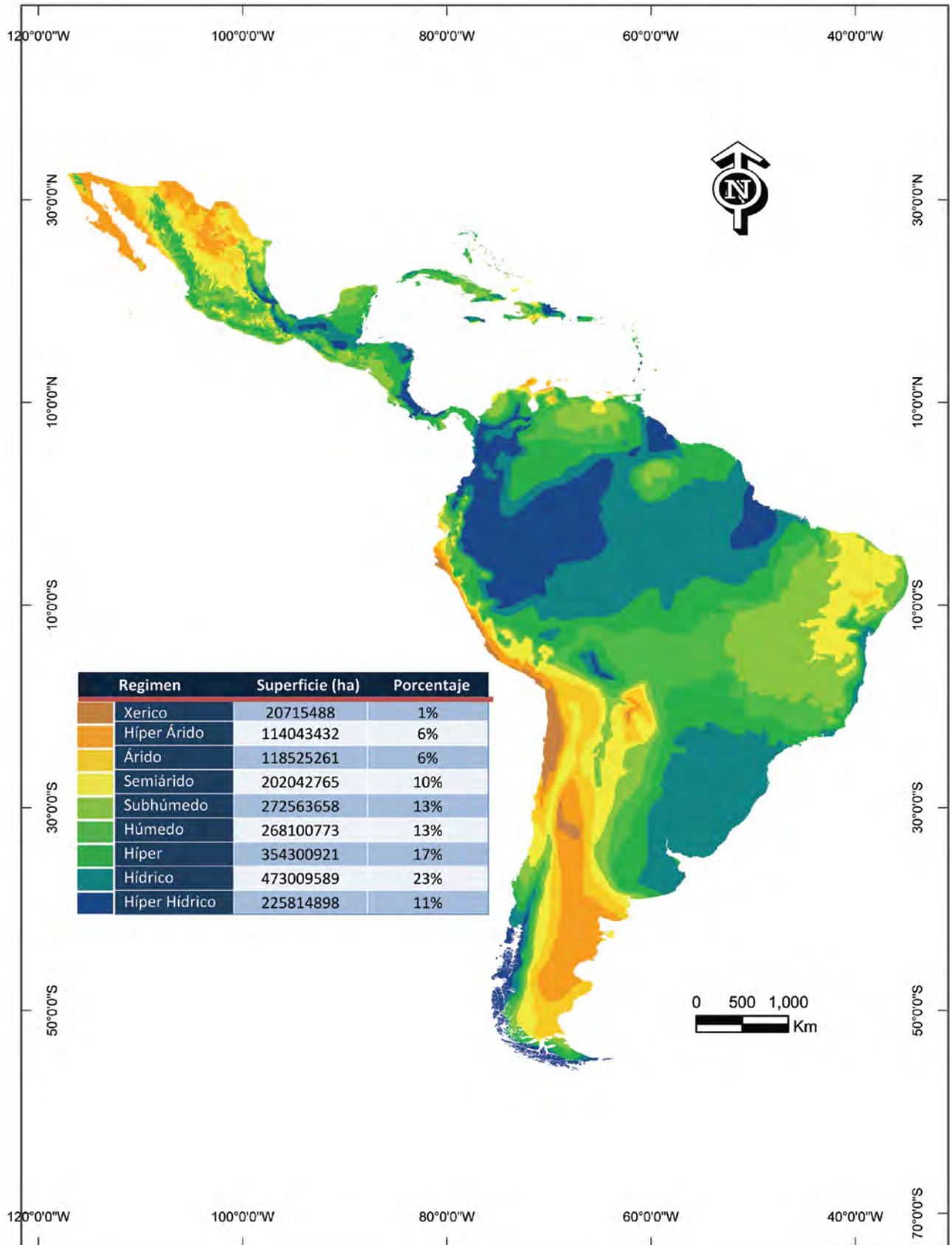
País	% Zonas Áridas
Netherlands Antilles	100%
Barbados	100%
Turks and Caicos	100%
Aruba	100%
Aguilla Island	100%
Antigua and Barbuda	78%
Haiti	54%
British Virgin Islands	49%
Dominican Republic	34%
Saint Kitts and Nevis	30%
Guadeloupe	25%
Bahamas	24%
Jamaica	10%

El Caribe



¹ Se considera las zonas xéricas, hiper áridas, áridas, semiáridas y subhúmedas como zona árida

Mapa de Aridez de América Latina y El Caribe



Mapas de Aridez por país

Antigua and Barbuda

Fecha de creación

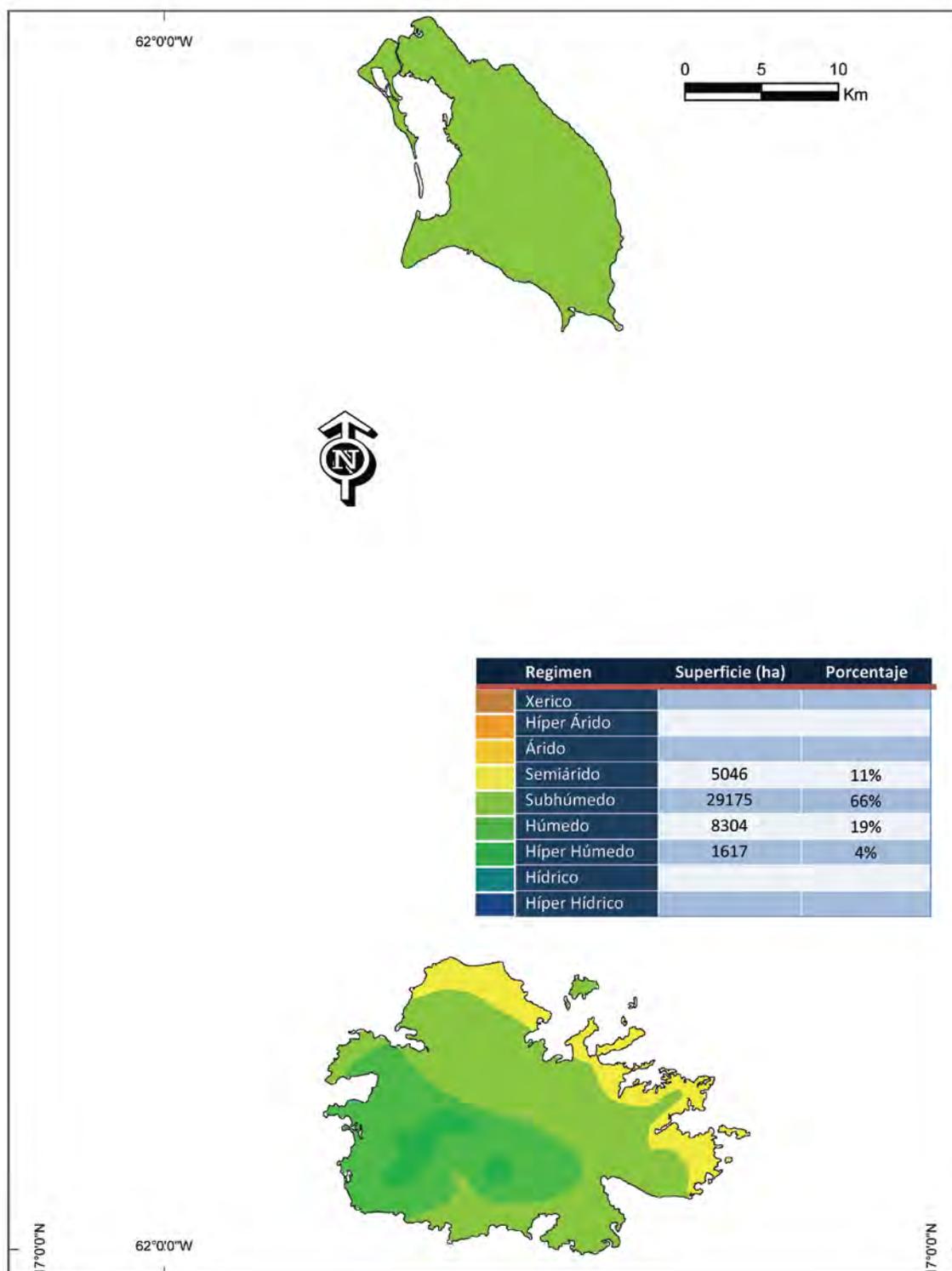
17 de octubre 2007

Coordinadores CAZALAC

Koen Verbist, Fernando Santibañez

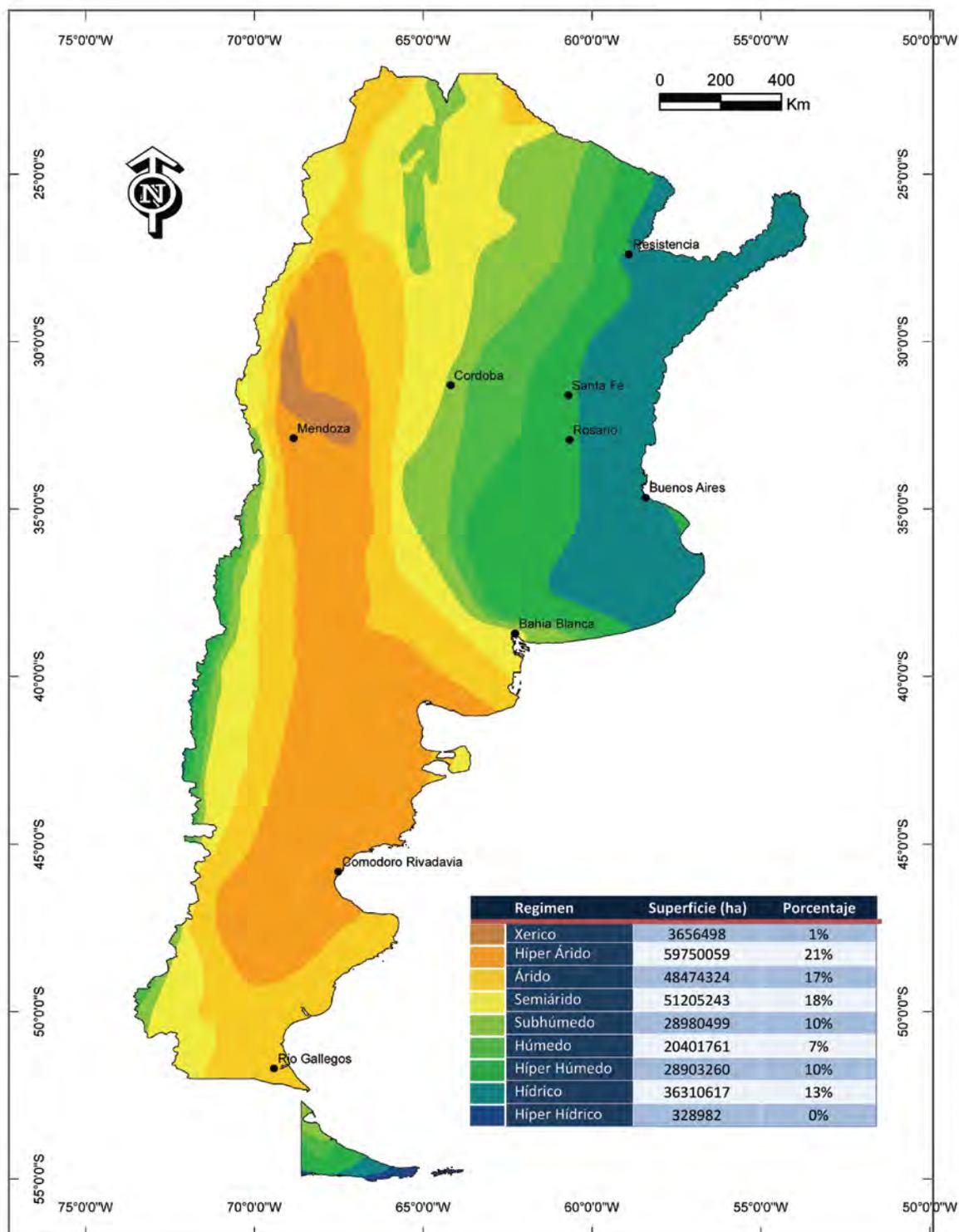
Coordinador Nacional

Ivan Rodrigues(APUA)



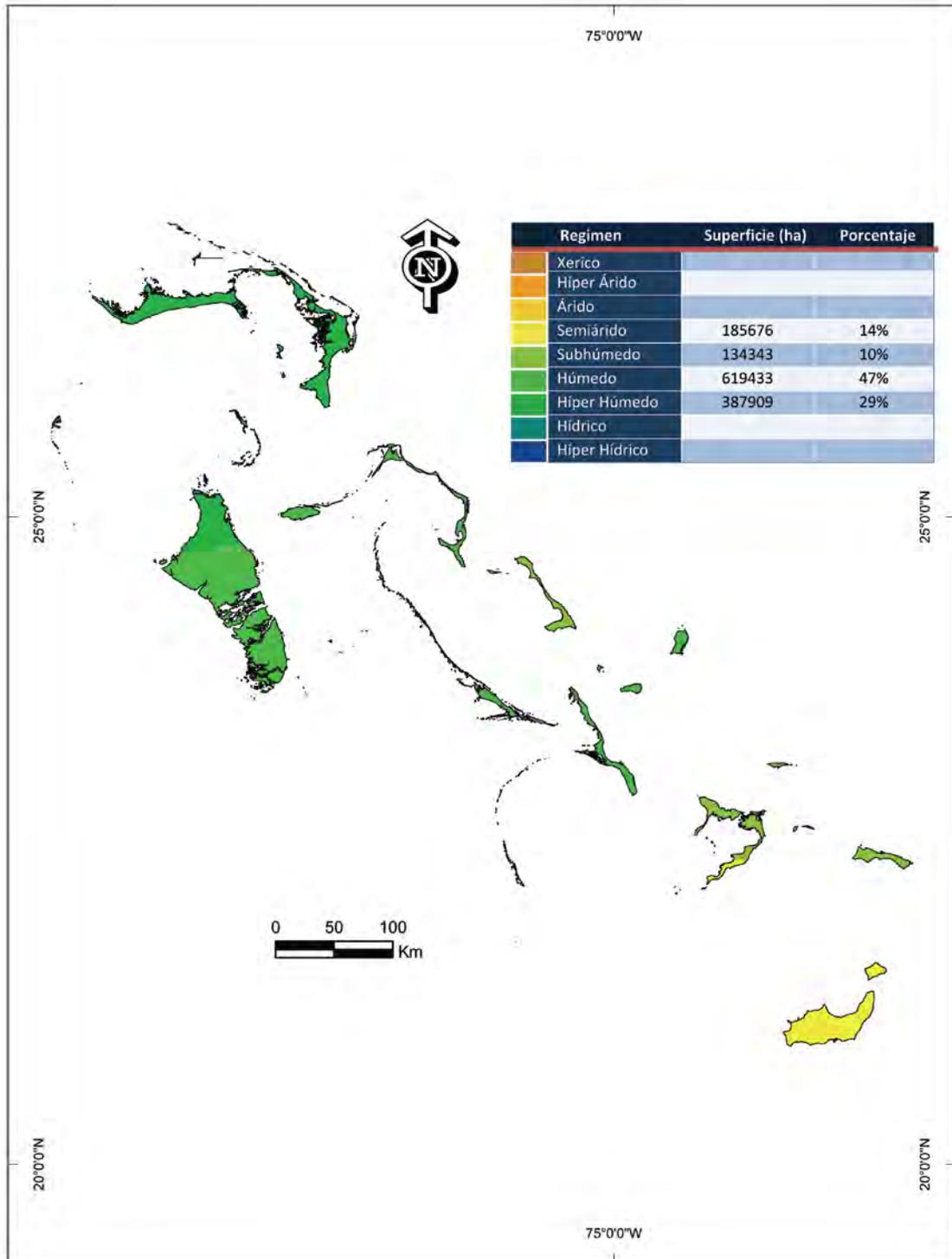
Argentina

Fecha de creación	15 de febrero 2007
Coordinadores CAZALAC	Koen Verbist, Fernando Santibañez
Coordinadores Nacionales	Cristina Moyano (INA), Raúl Diaz (INTA), Elena María Abraham (IADIZA)



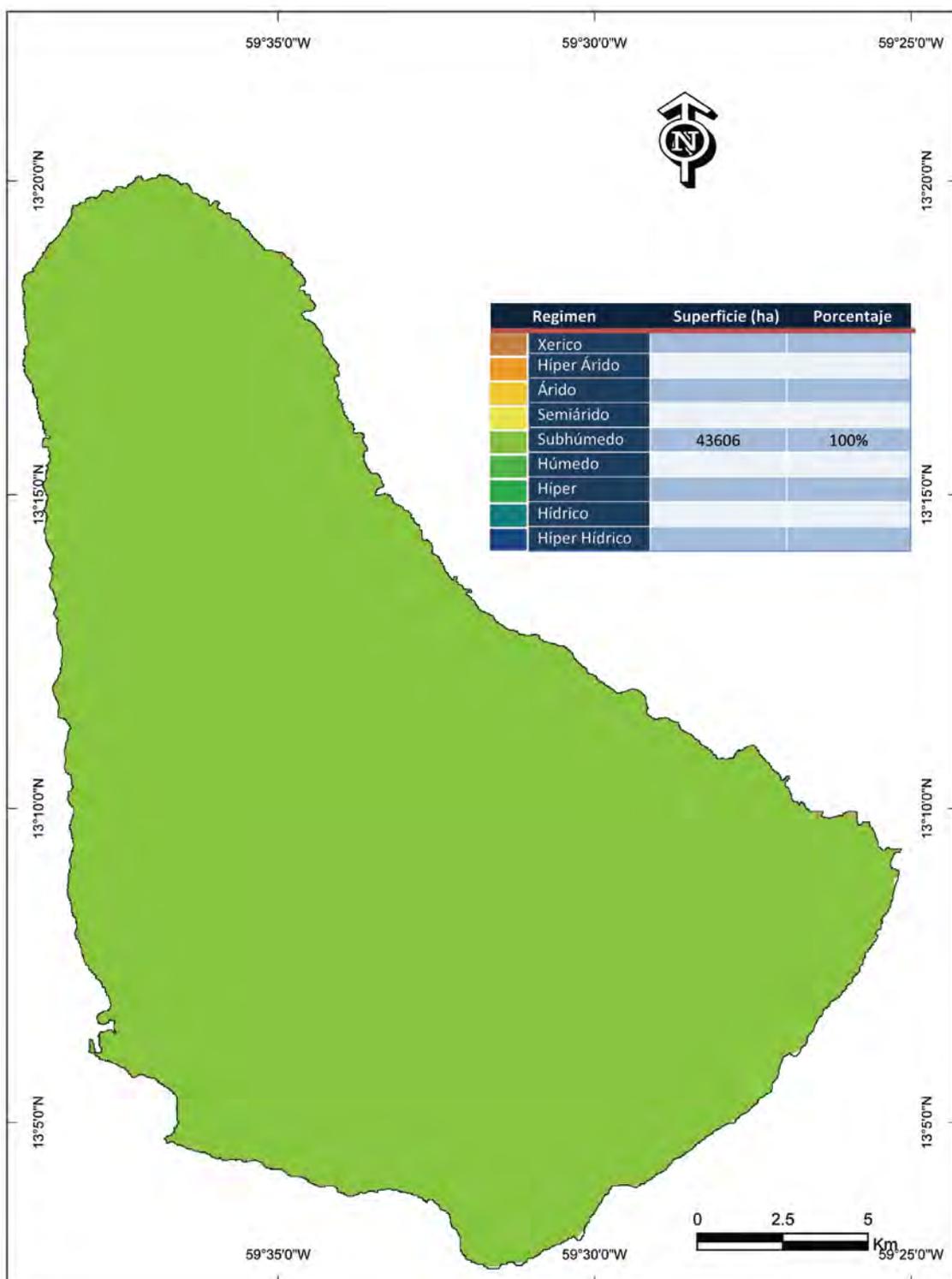
Bahamas

Fecha de creación	17 de octubre 2007
Coordinadores CAZALAC	Koen Verbist, Fernando Santibañez
Coordinadores Nacionales	John Bowleg (WSC), Michael Swann (WSC), Shantelle Lopez(WSC), Jeffrey Simmons (Dep. of Meteorology)



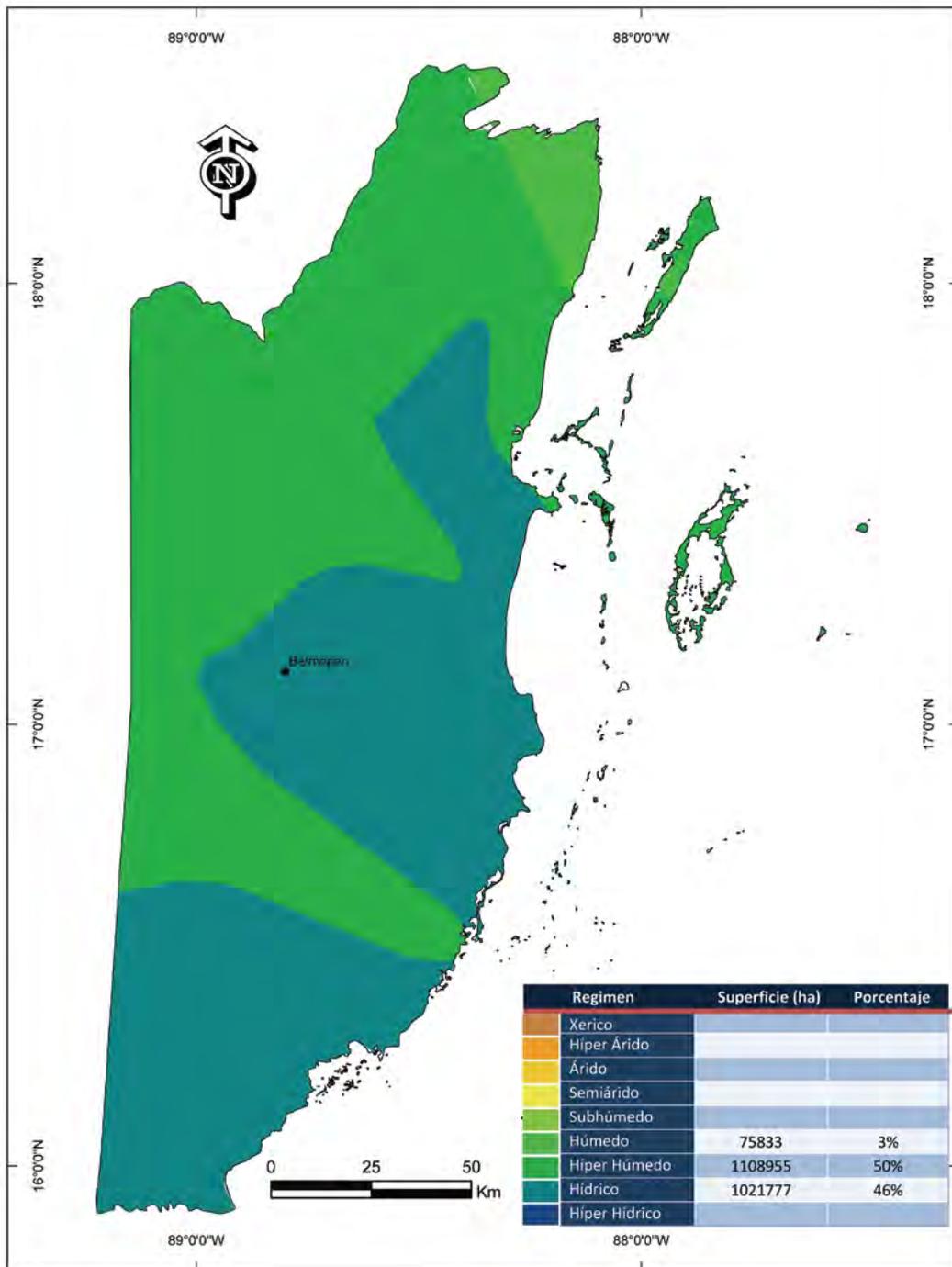
Barbados

Fecha de creación	14 de abril 2006
Coordinadores CAZALAC	Fernando Santibañez, Koen Verbist
Coordinadores Nacionales	Carlyle Bourne (Ministry of Agriculture, Rural Development)



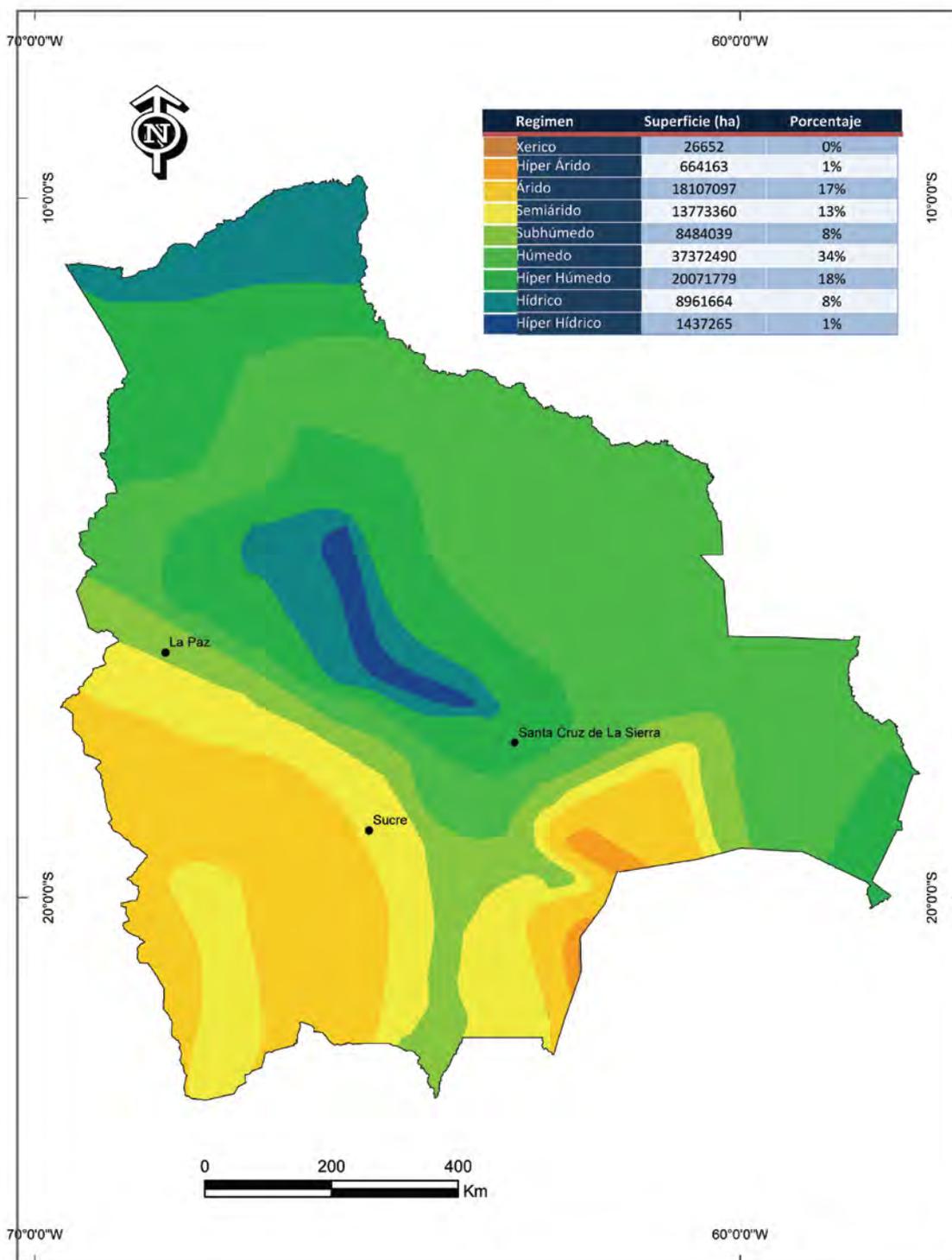
Belice

Fecha de creación	14 de abril 2006
Coordinadores CAZALAC	Fernando Santibañez, Koen Verbist
Coordinadores Nacionales	Ramon Frutos (National Hydromet Service)



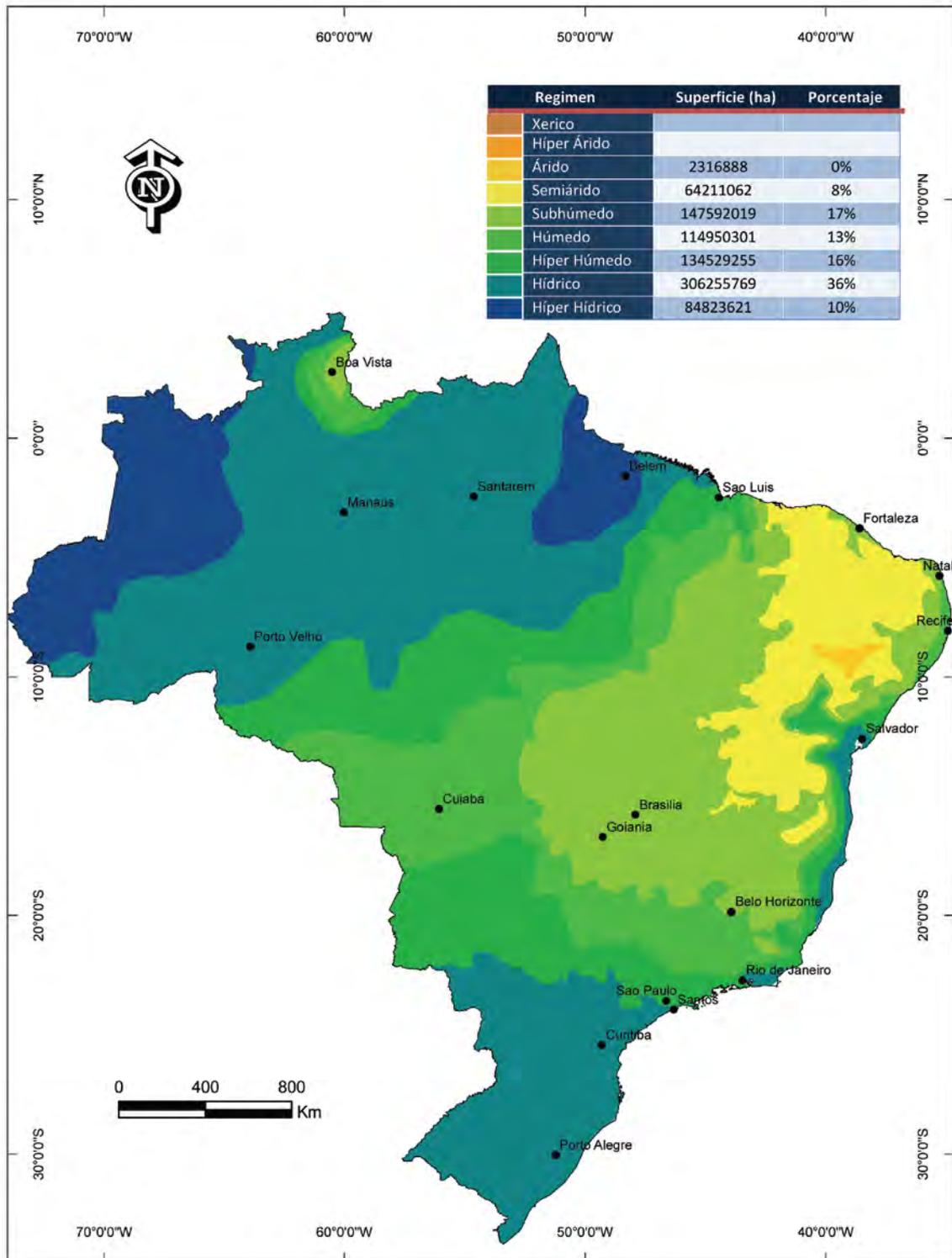
Bolivia

Fecha de creación	14 de abril 2006
Coordinadores CAZALAC	Fernando Santibañez, Koen Verbist
Coordinadores Nacionales	Ángel Aliaga (Instituto de Hidráulica e Hidrología)



Brazil

Fecha de creación	3 de julio 2006
Coordinadores CAZALAC	Koen Verbist, Fernando Santibañez
Coordinadores Nacionales	Alexandre Ortega (Embrapa)



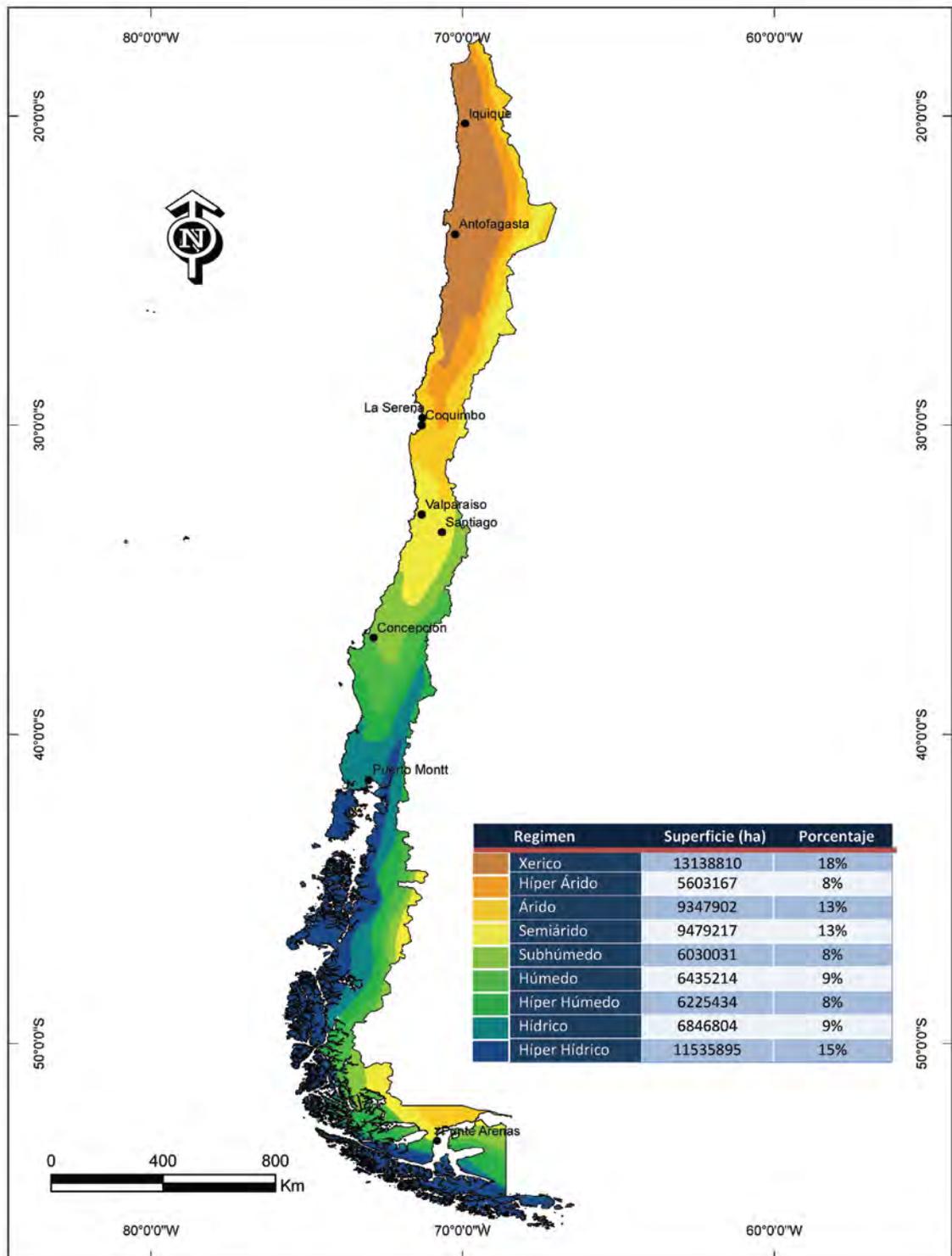
Chile

Fecha de creación

14 de abril 2006

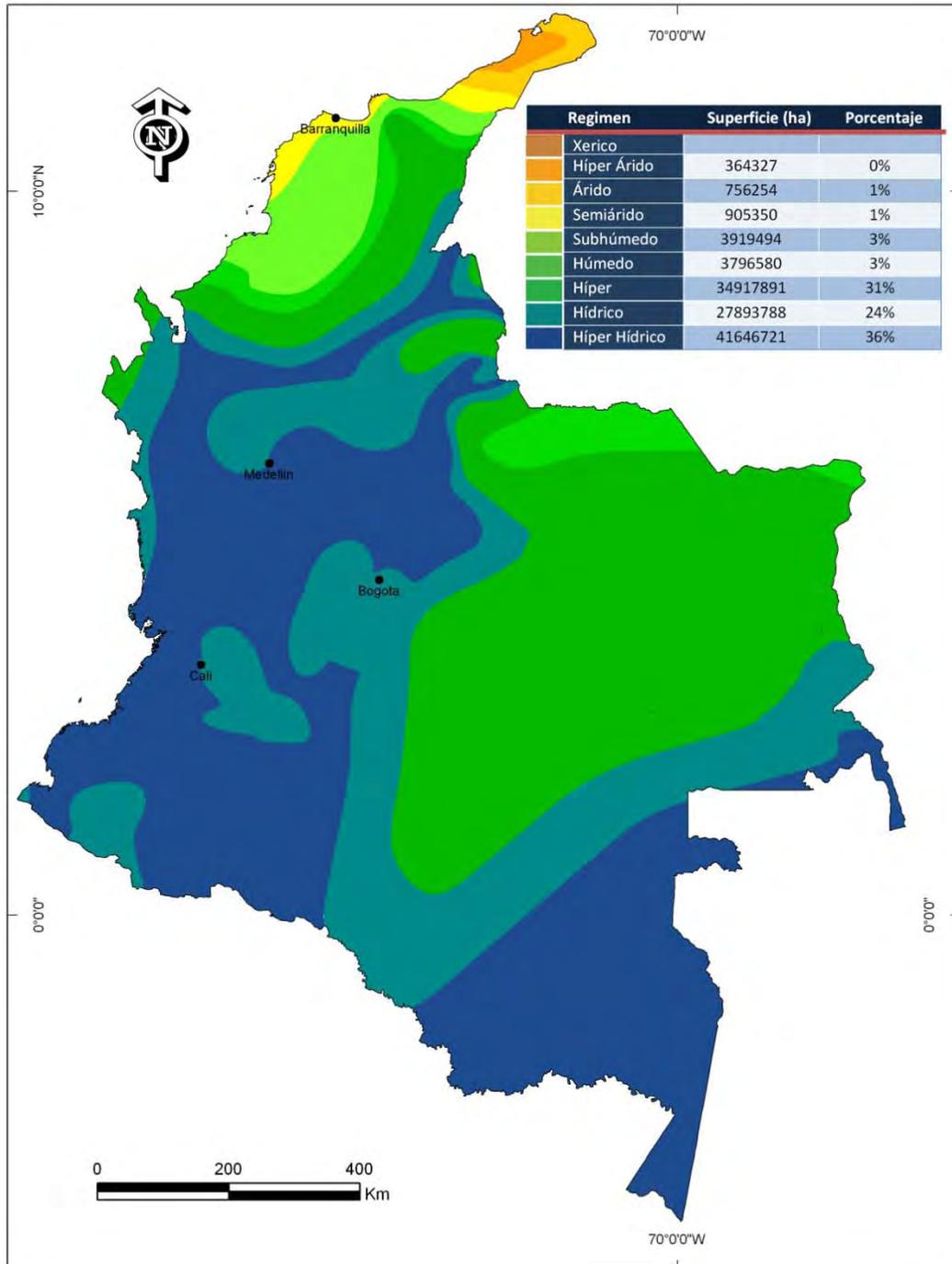
Coordinadores CAZALAC

Fernando Santibañez, Koen Verbist



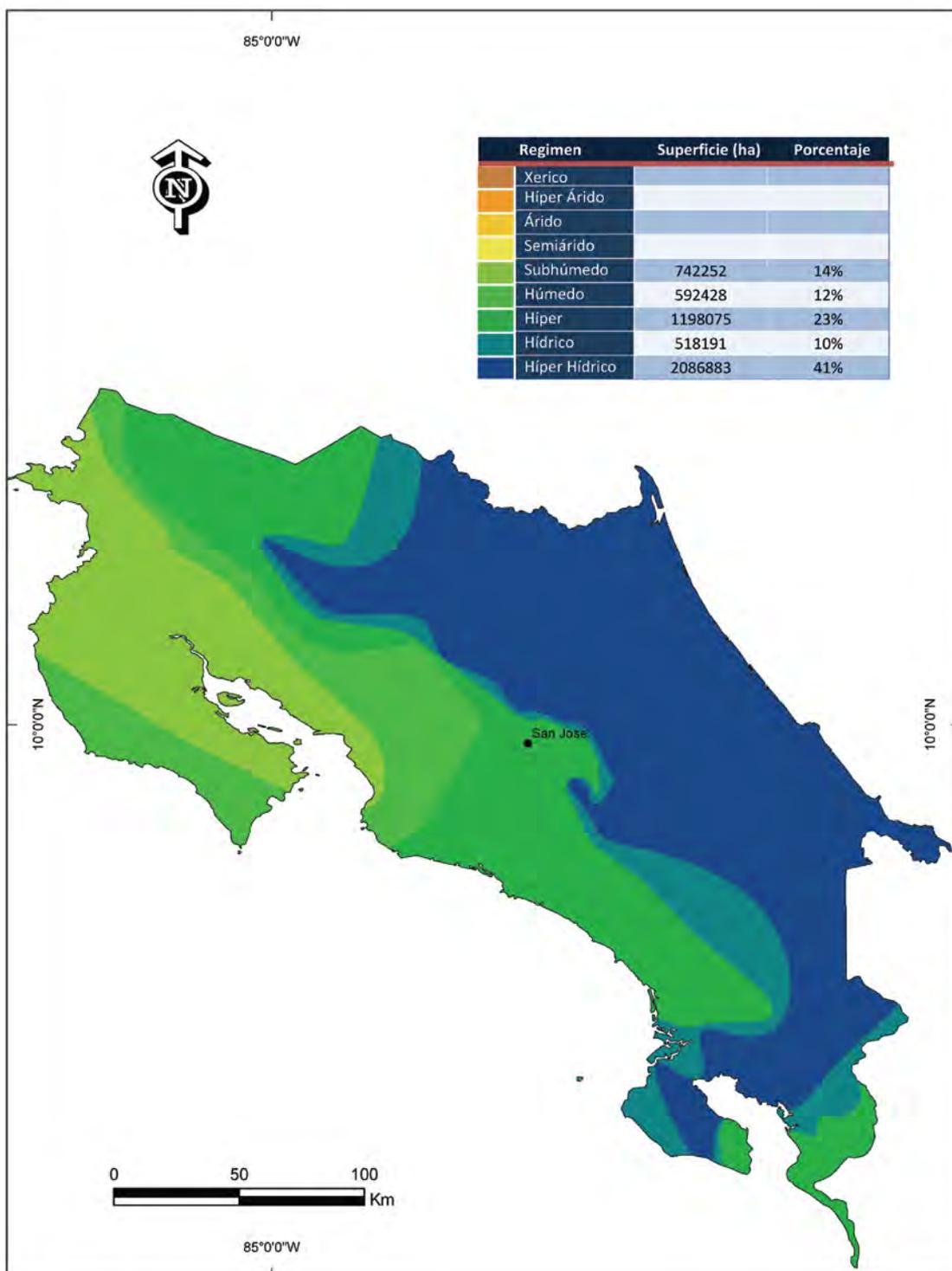
Colombia

Fecha de creación	14 de abril 2006
Coordinadores CAZALAC	Fernando Santibañez, Koen Verbist
Coordinadores Nacionales	Yesid Carvajal (Universidad del Valle)



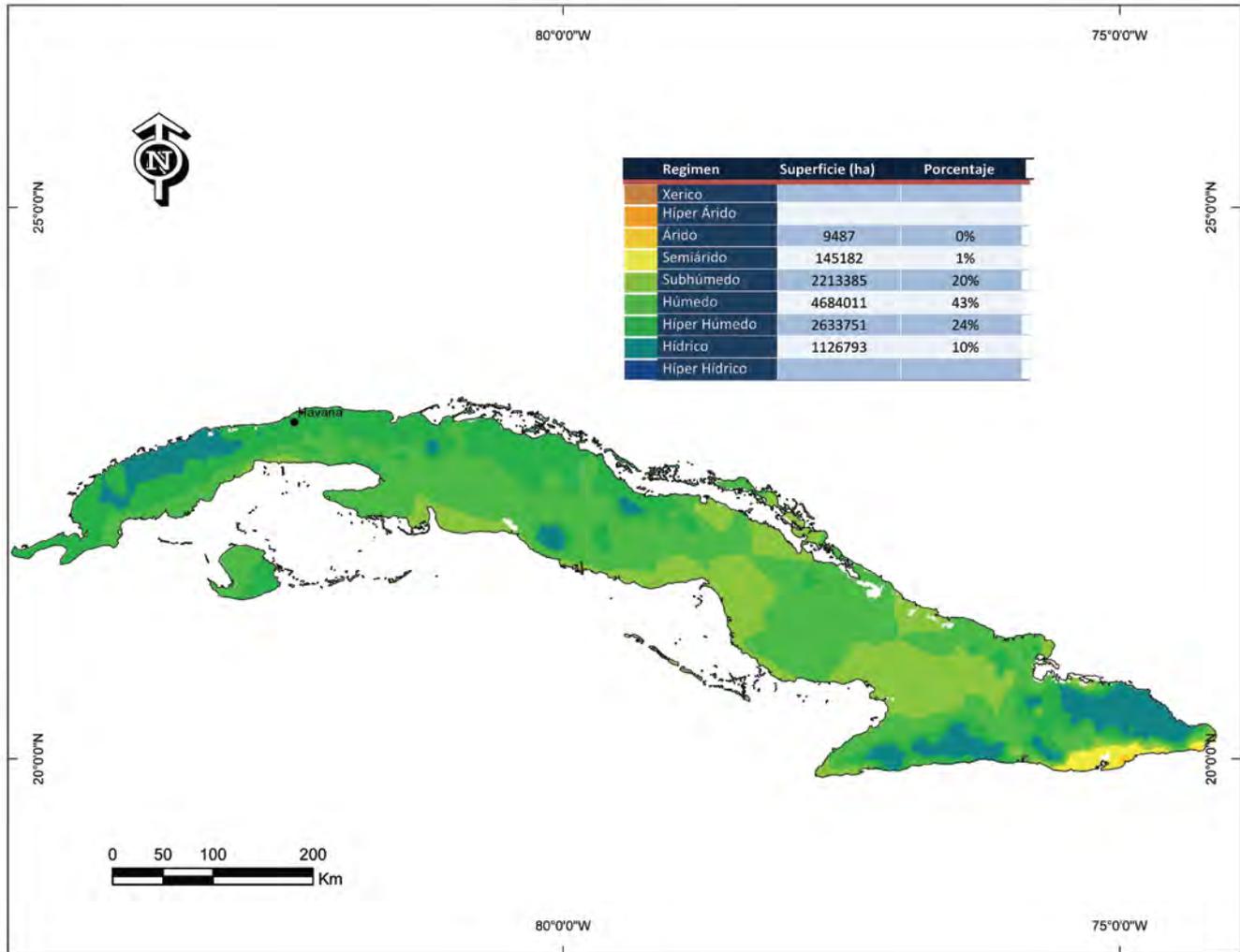
Costa Rica

Fecha de creación	14 de abril 2006
Coordinadores CAZALAC	Fernando Santibañez, Koen Verbist
Coordinadores Nacionales	Rafael Chacón (ICE)



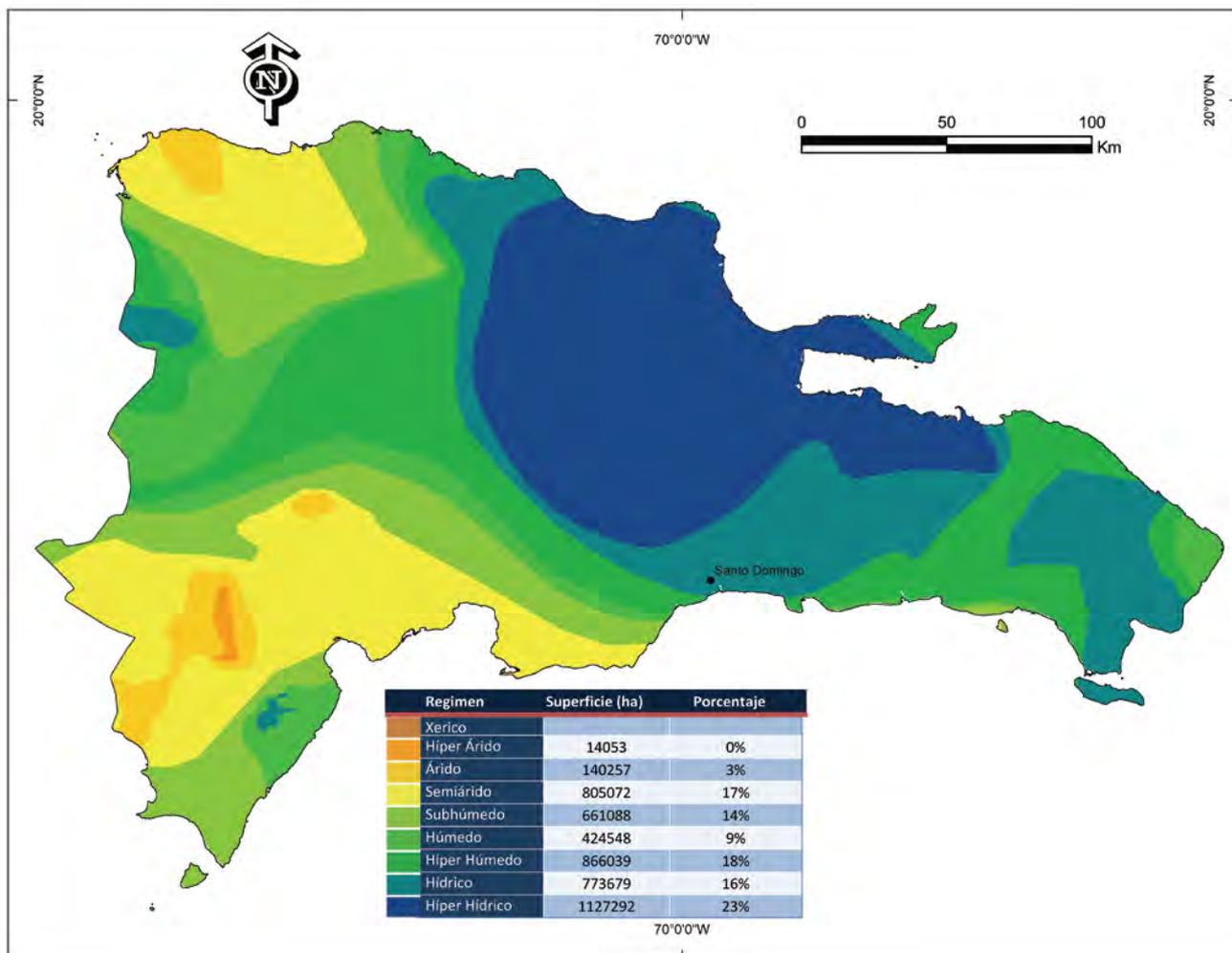
Cuba

Fecha de creación	3 de febrero 2006
Coordinadores CAZALAC	Koen Verbist, Fernando Santibañez
Coordinadores Nacionales	Oscar Solano, Braulio Lapinel y Ransés Vázquez (Inst. de Meteorología), Francis Rodríguez y Argelio Fernández (INRH)



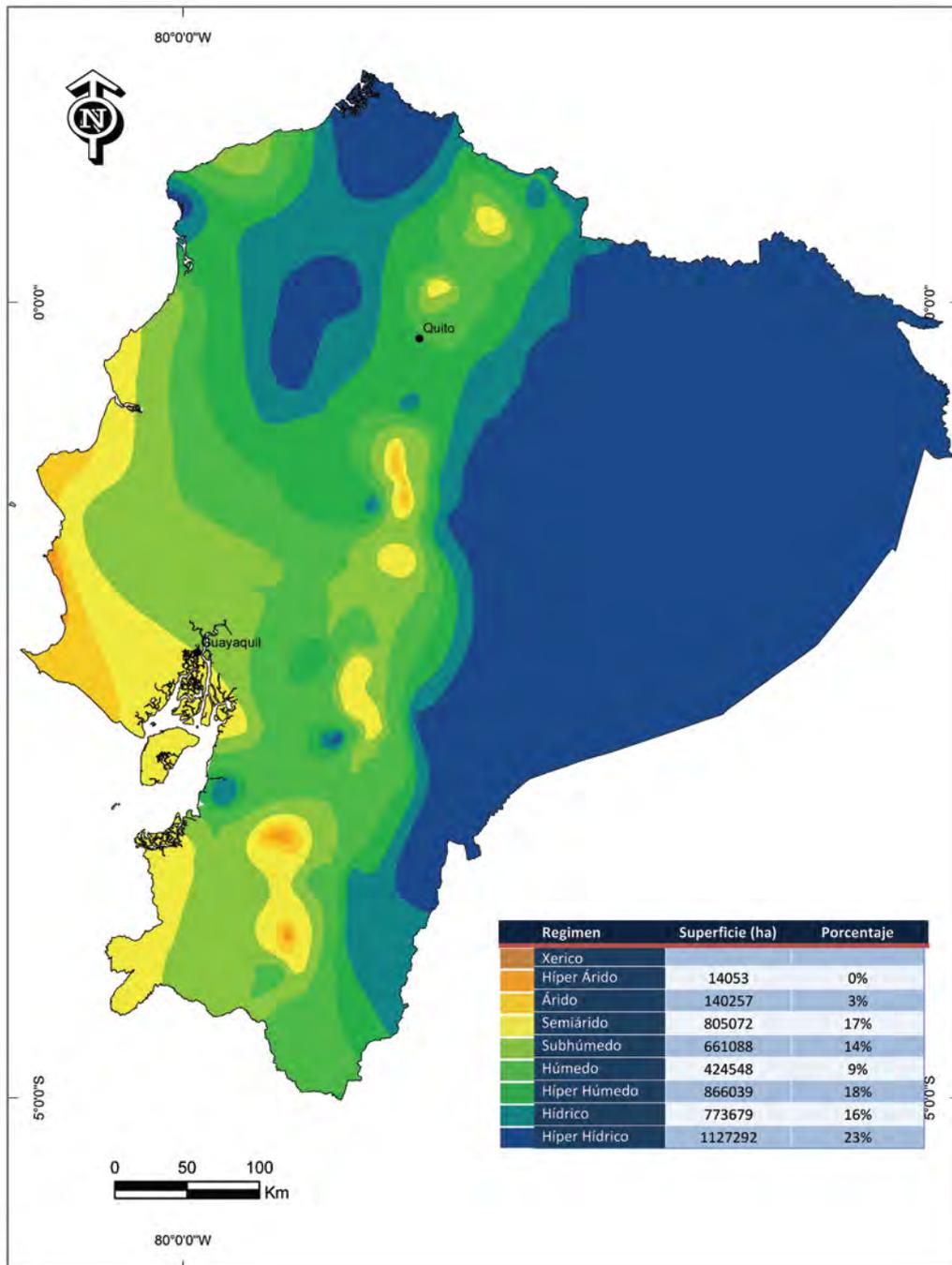
República Dominicana

Fecha de creación	29 de junio 2006
Coordinadores CAZALAC	Koen Verbist, Fernando Santibañez
Coordinadores Nacionales	Hector Rodriguez (INDRHI)



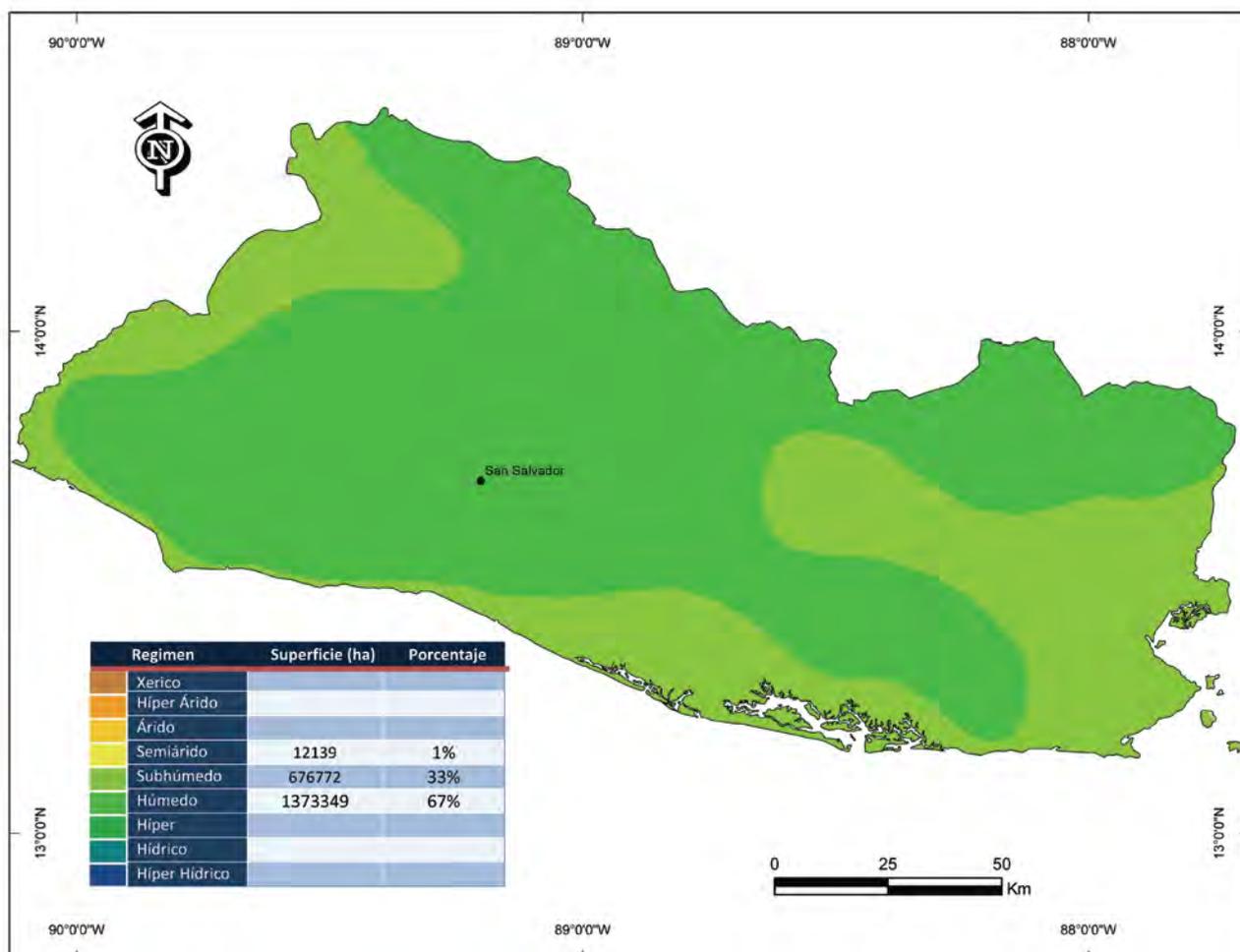
Ecuador

Fecha de creación	22 de diciembre 2008
Coordinadores CAZALAC	Koen Verbist, Fernando Santibañez, Jorge Nuñez
Coordinadores Nacionales	Gilma Carvajal y Carlos Lugo (INAMHI)
Participantes	Gonzalo Ontaneda, René Moya, Máximo Pinto, Hernán Parreño, Nancy Moya, Ximena Riofrío, Northon Burbano, Juan Molina, Alexie Talavera, Mario Tejada (INAMHI). David Neira (PACC), Jorge Guzmán (Punto Focal UNCCD). Felipe Cisneros (PROMAS).



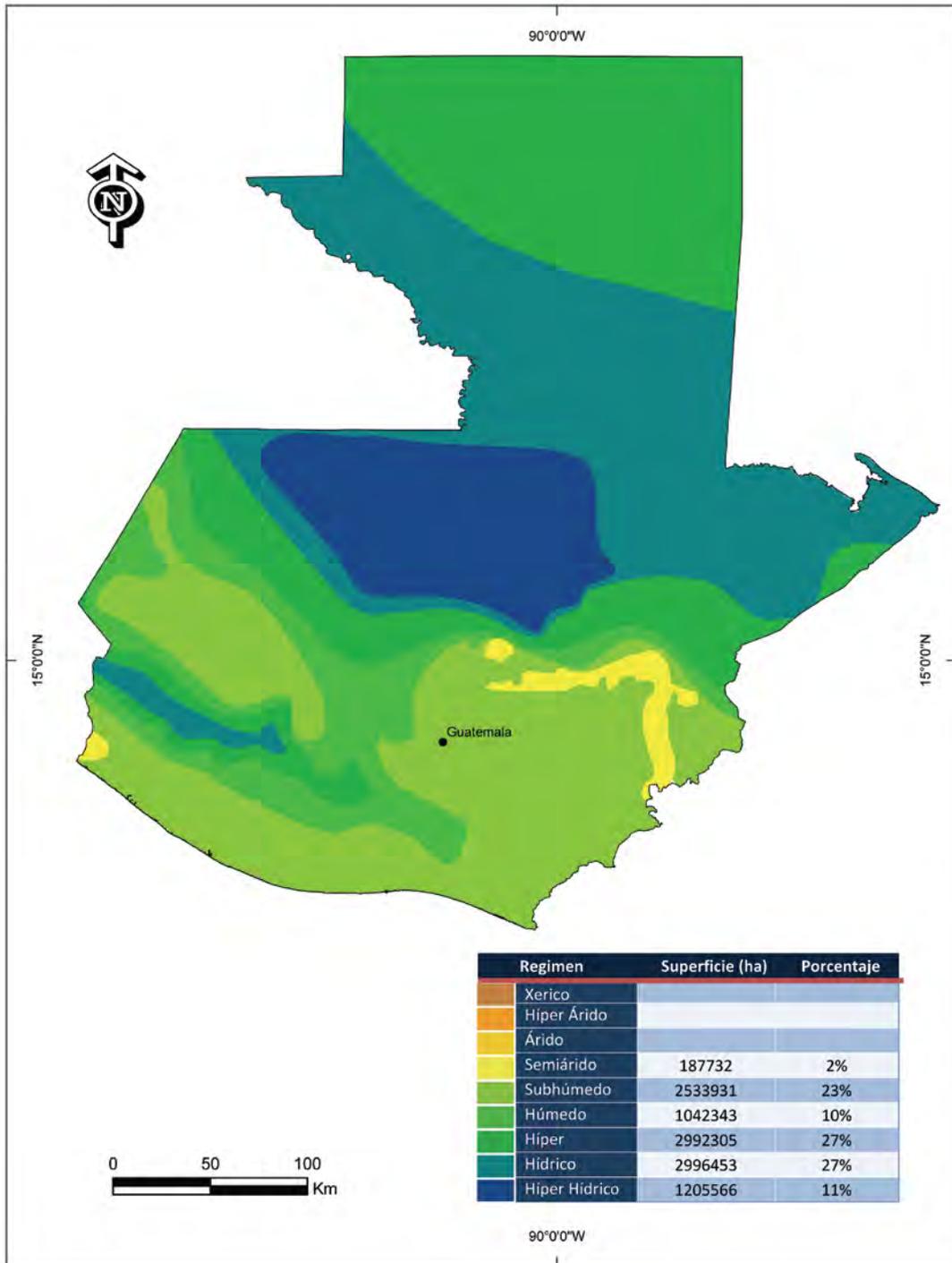
El Salvador

Fecha de creación	2 de enero 2006
Coordinadores CAZALAC	Koen Verbist, Fernando Santibañez
Coordinadores Nacionales	Deisy Lopez (SNET)



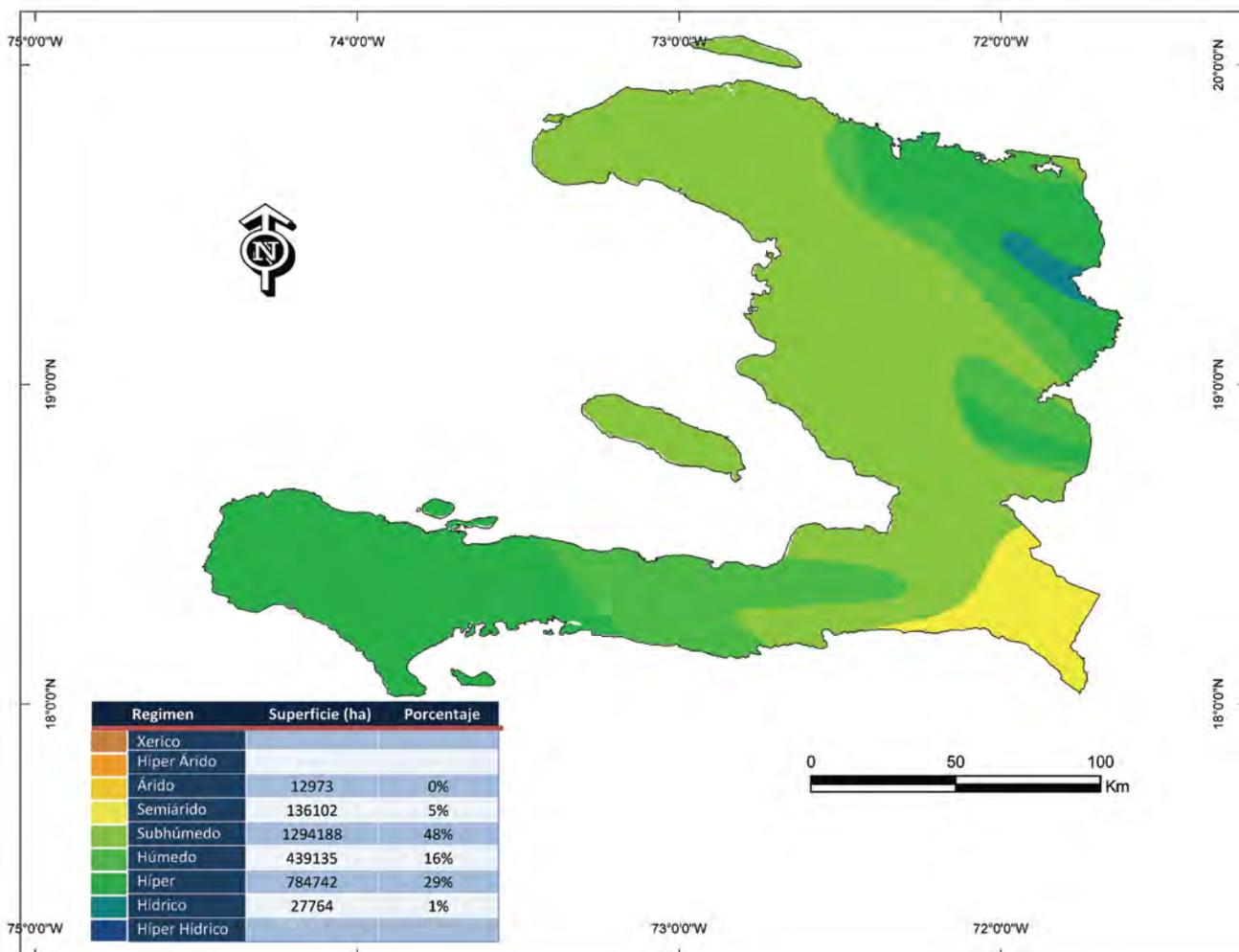
Guatemala

Fecha de creación	19 de julio 2006
Coordinadores CAZALAC	Koen Verbist, Fernando Santibañez
Coordinadores Nacionales	Pedro Tax (INSIVUMEH)



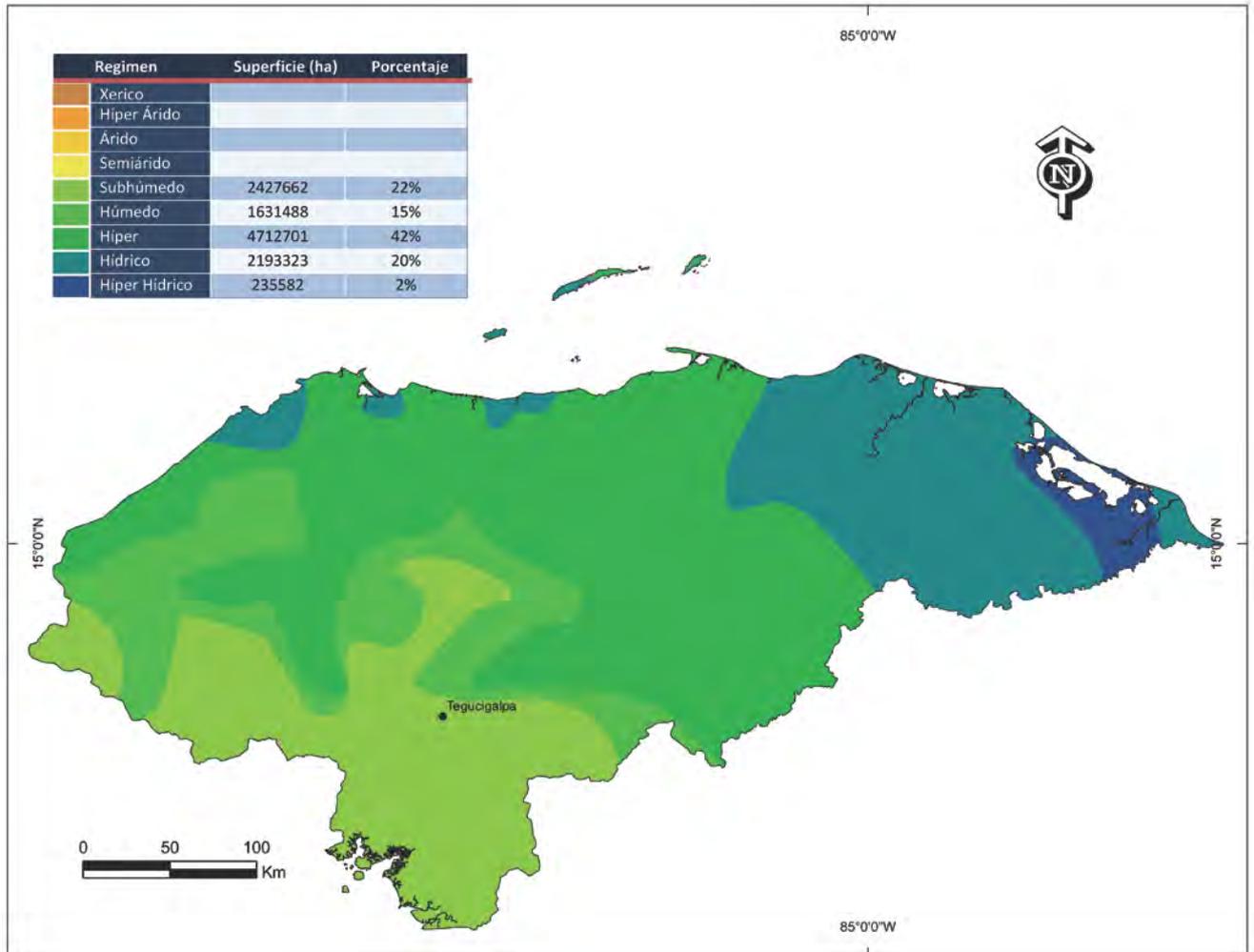
Haiti

Fecha de creación	14 de abril 2006
Coordinadores CAZALAC	Fernando Santibañez, Koen Verbist
Coordinadores Nacionales	-



Honduras

Fecha de creación	14 de abril 2006
Coordinadores CAZALAC	Fernando Santibañez, Koen Verbist
Coordinadores Nacionales	Dania Baca (Serna)



Jamaica

Fecha de creación

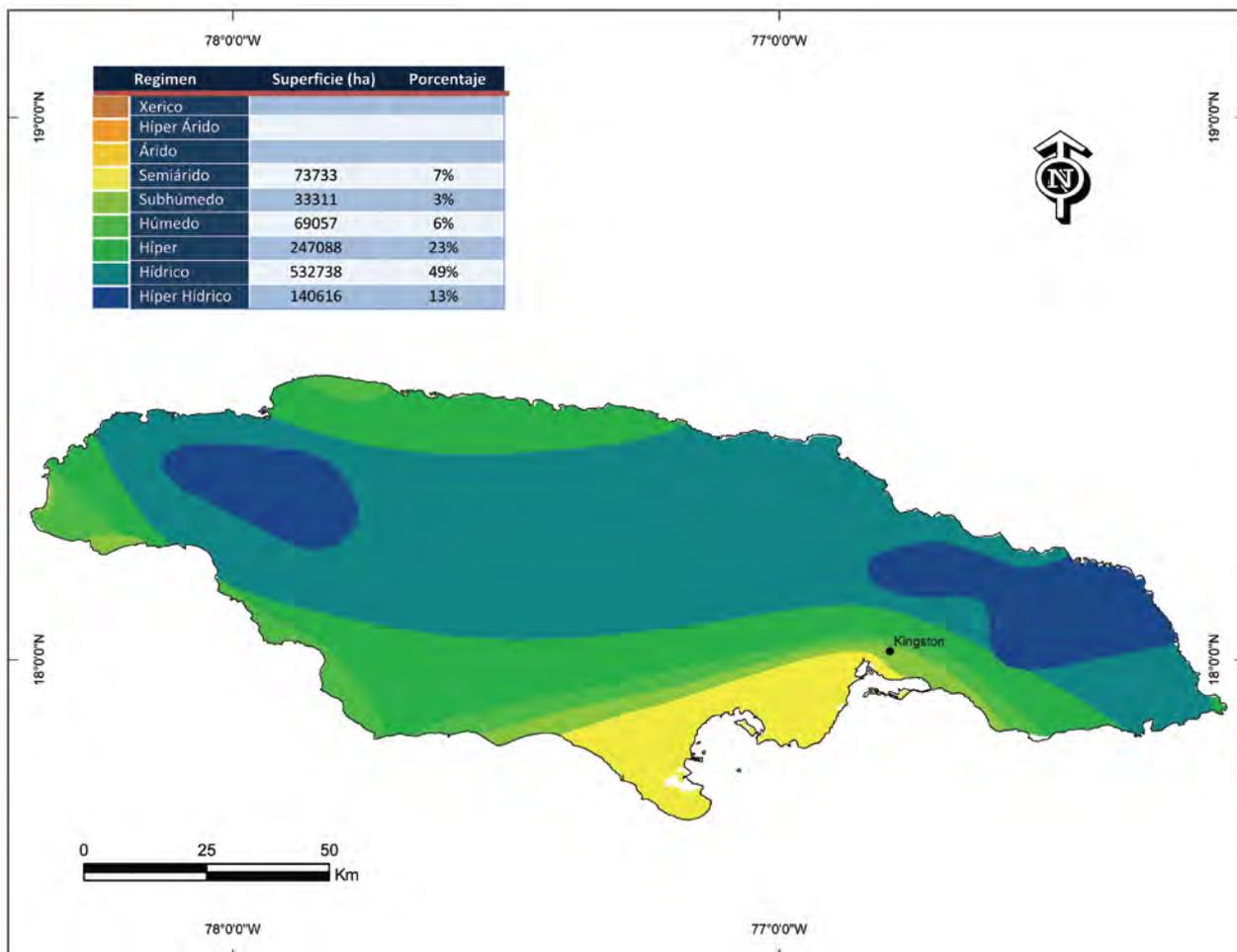
14 de noviembre 2007

Coordinadores CAZALAC

Fernando Santibañez, Koen Verbist

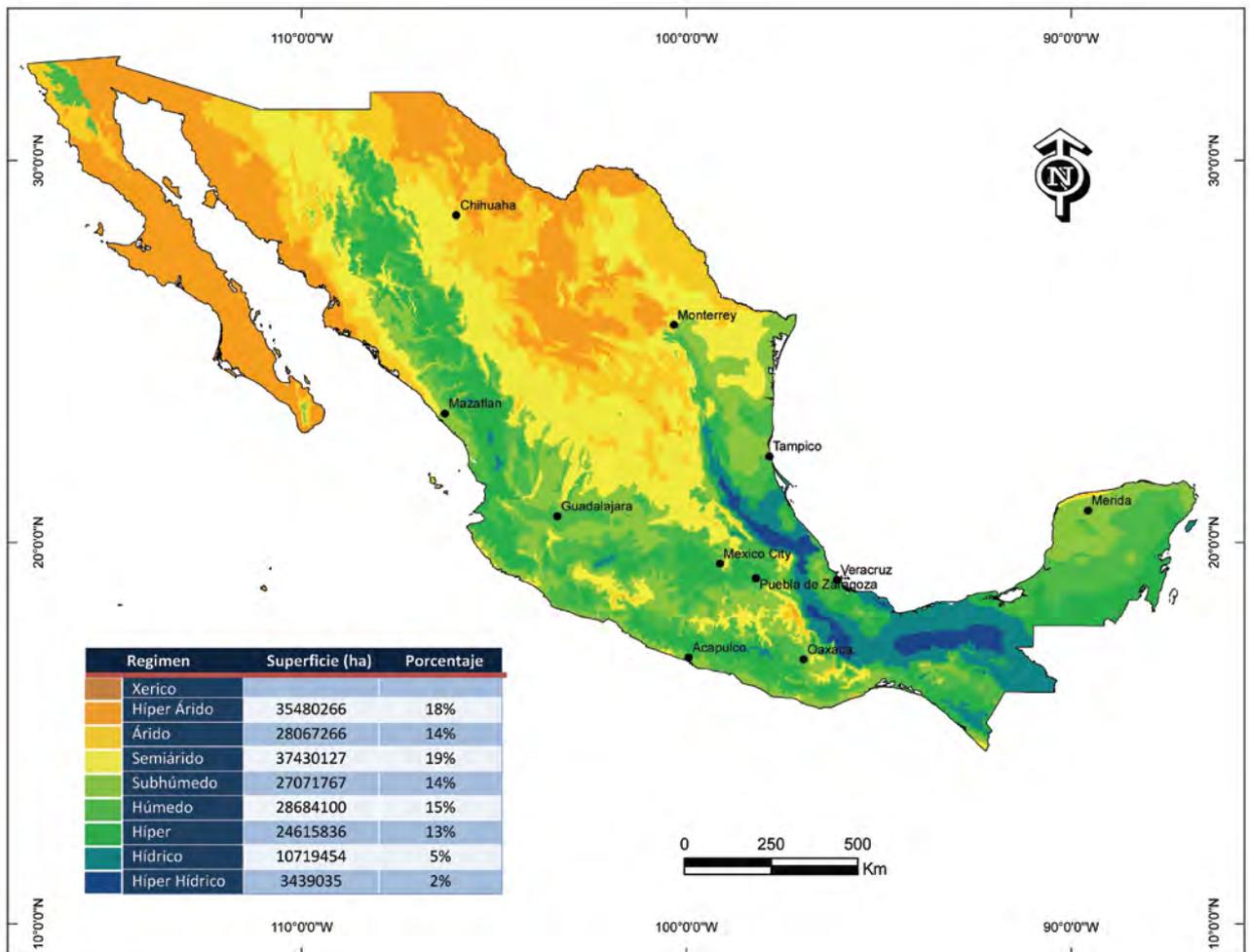
Coordinadores Nacionales

Shonel Dwyer (Water Resources Authority)



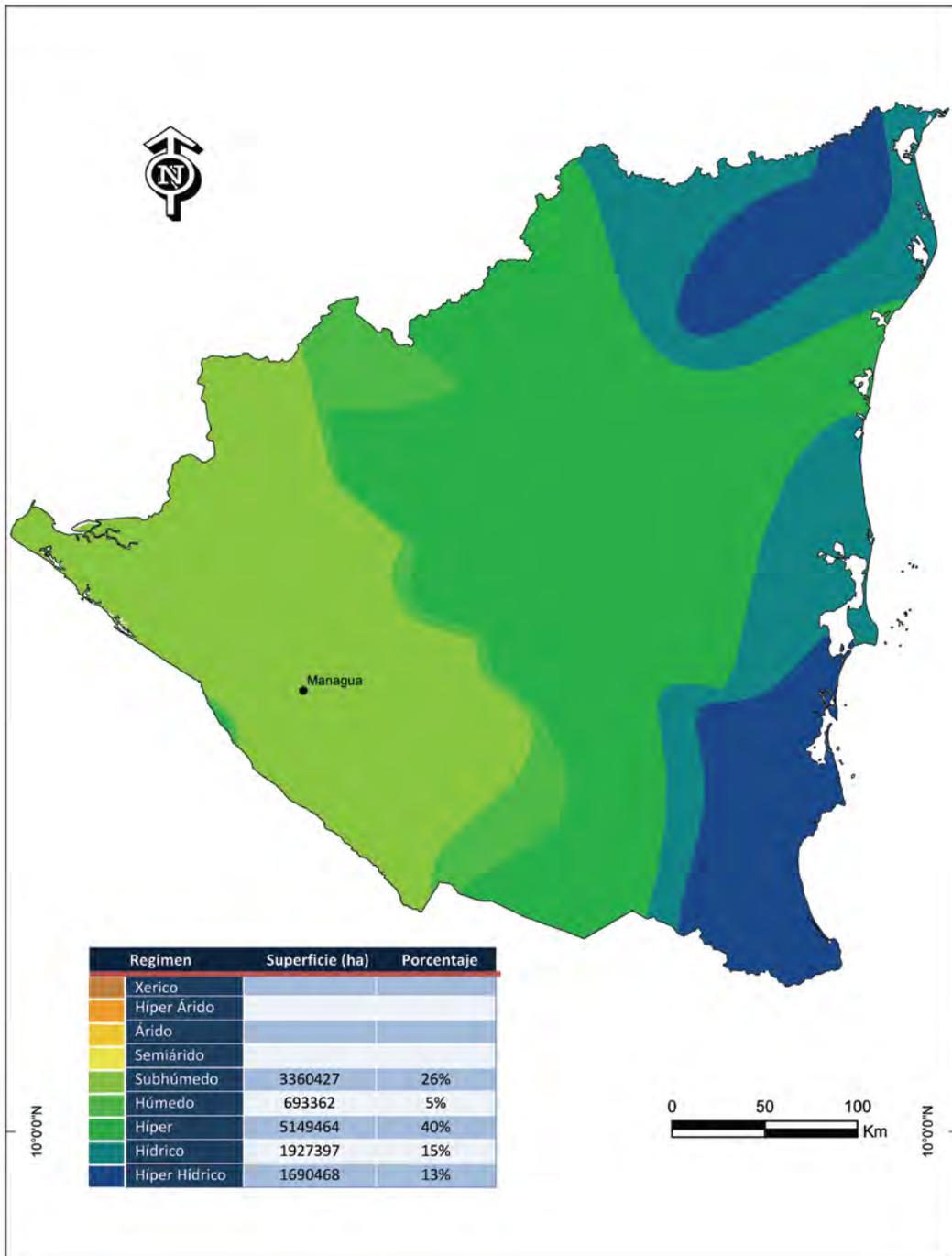
Mexico

Fecha de creación	30 de noviembre 2007
Coordinador CAZALAC	Koen Verbist, Guido Soto Alvarez
Coordinadores Nacionales	Israel Velasco Velasco y Javier Aparicio (IMTA)
Participantes	Esteban Pimentel (IMTA), Ramón Arteaga Ramírez (UACH), Hilario Charcas Salazar (IIZD-UASLP), Valentina Davydova (SMN-CONAGUA), Engracia Hernandez (UNAM), Helena Cotler Dávalos (I. Nac. De Ecología), Daniel Núñez Lopez (CEISS) Francisco Mojarro Davila (INIFAP), Guillermo Crespo Pichardo (Col. De Postgrad.), Ramiro Vega Nevarez (IMTA), Arturo Garrido Pérez (INE), Juan Matías Mendez Perez (CCA-UNAM)



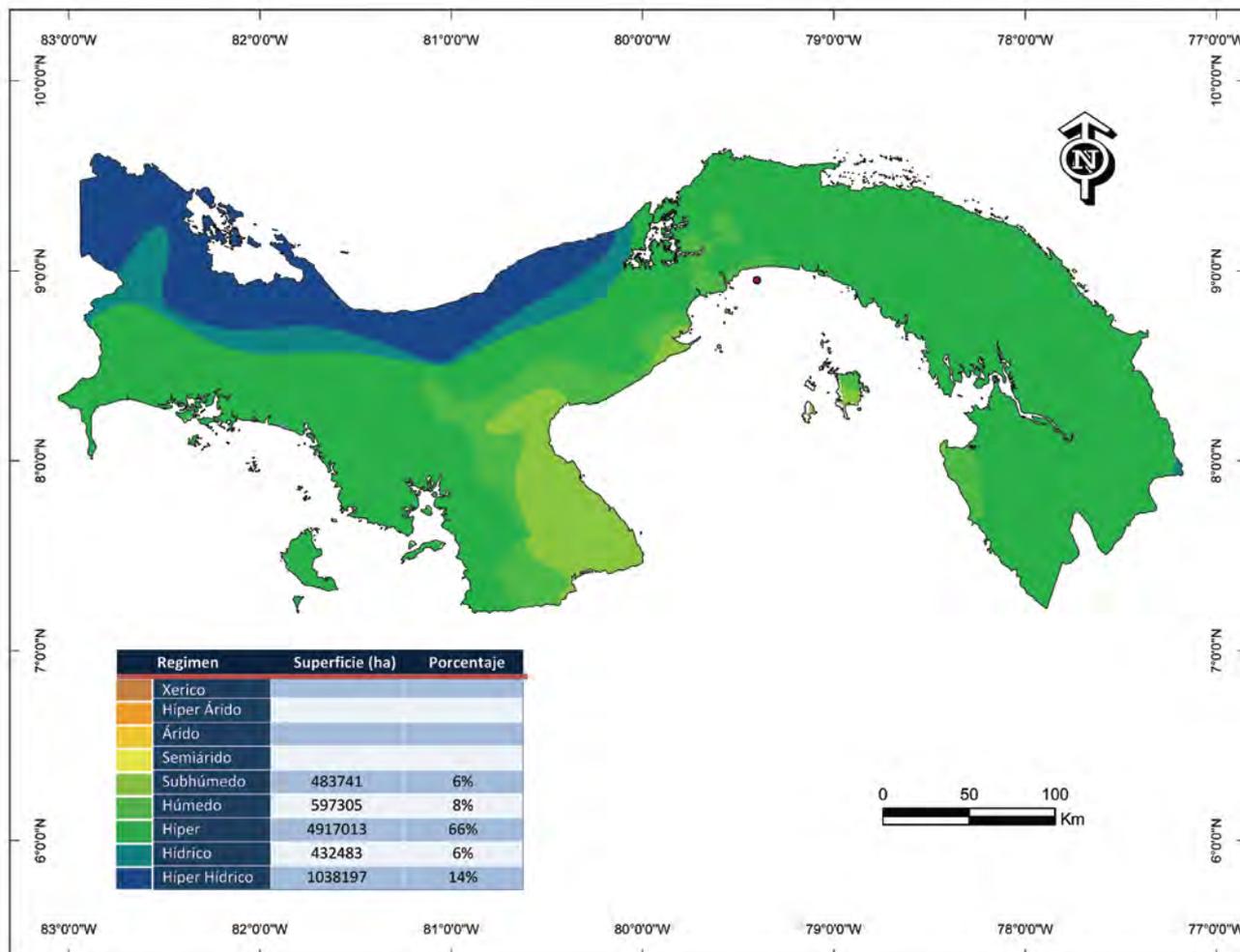
Nicaragua

Fecha de creación	14 de abril 2006
Coordinadores CAZALAC	Fernando Santibañez, Koen Verbist
Coordinadores Nacionales	Luis Palacios Ruiz (INETER)



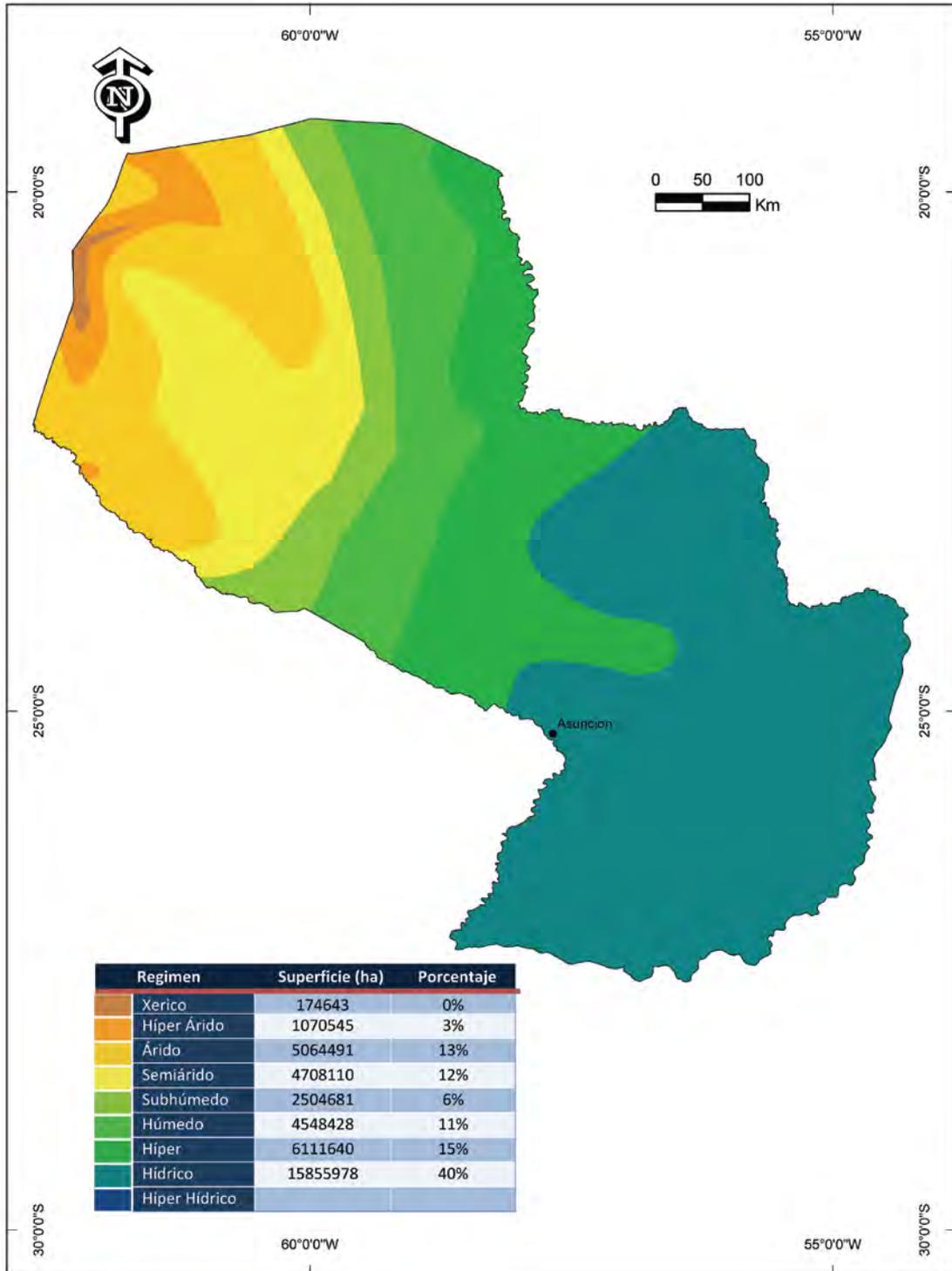
Panama

Fecha de creación	14 de abril 2006
Coordinadores CAZALAC	Fernando Santibañez, Koen Verbist
Coordinadores Nacionales	Ivan Jaramillo (ETESA)



Paraguay

Fecha de creación	14 de abril 2006
Coordinadores CAZALAC	Fernando Santibañez, Koen Verbist
Coordinadores Nacionales	Lilian Portillo (Secretaria del Ambiente)



Peru

Fecha de creación

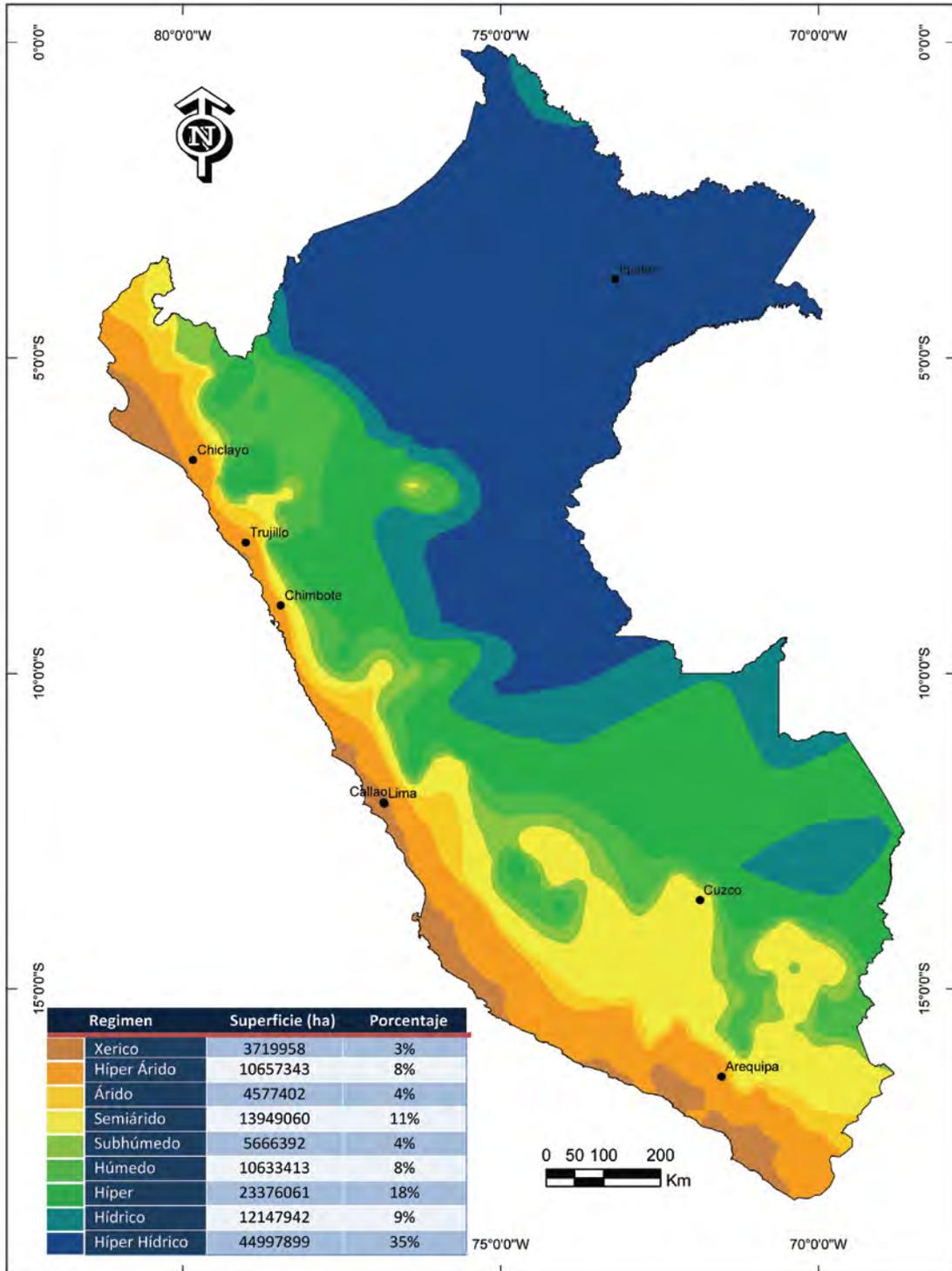
03 de julio 2006

Coordinadores CAZALAC

Koen Verbist, Fernando Santibañez

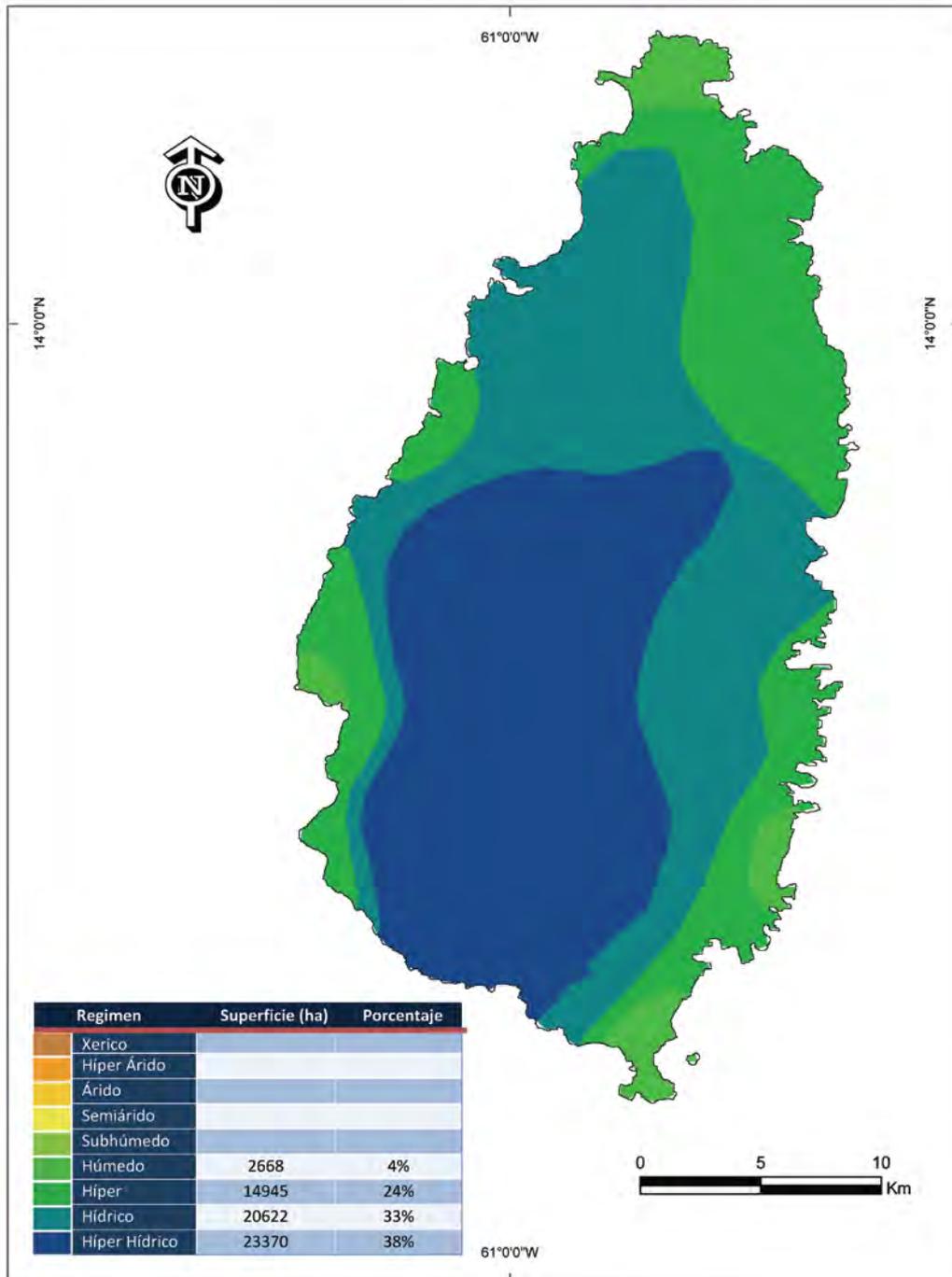
Coordinadores Nacionales

Héctor Vera (Dir. de Hidrología y Rec. Hídricos del SENAMHI)



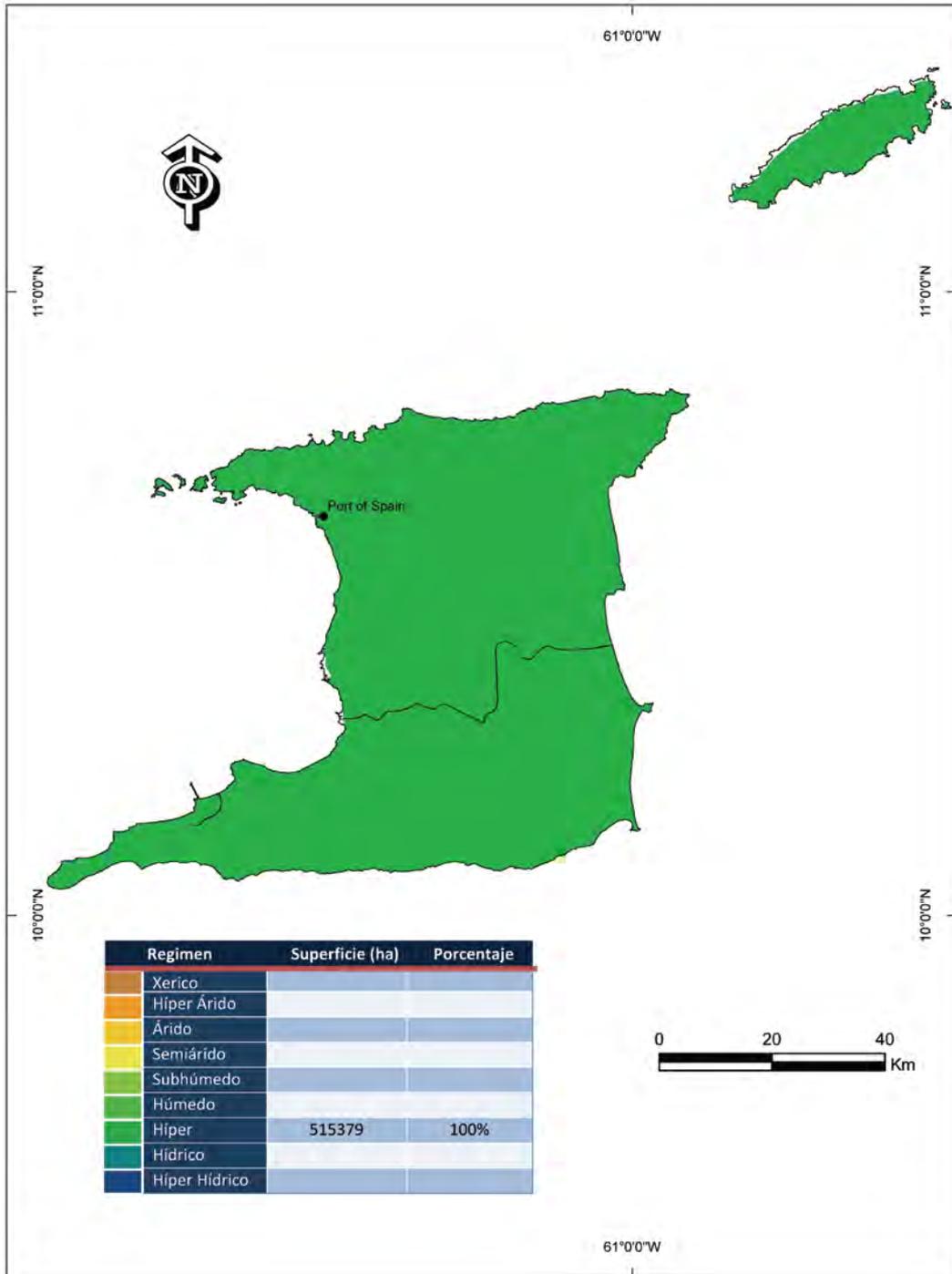
Santa Lucía

Fecha de creación	27 de noviembre 2007
Coordinadores CAZALAC	Koen Verbist, Fernando Santibañez
Coordinadores Nacionales	Bernadine Joseph, Jamar Regis (Min. of Agricult., Forestry and Fisheries)



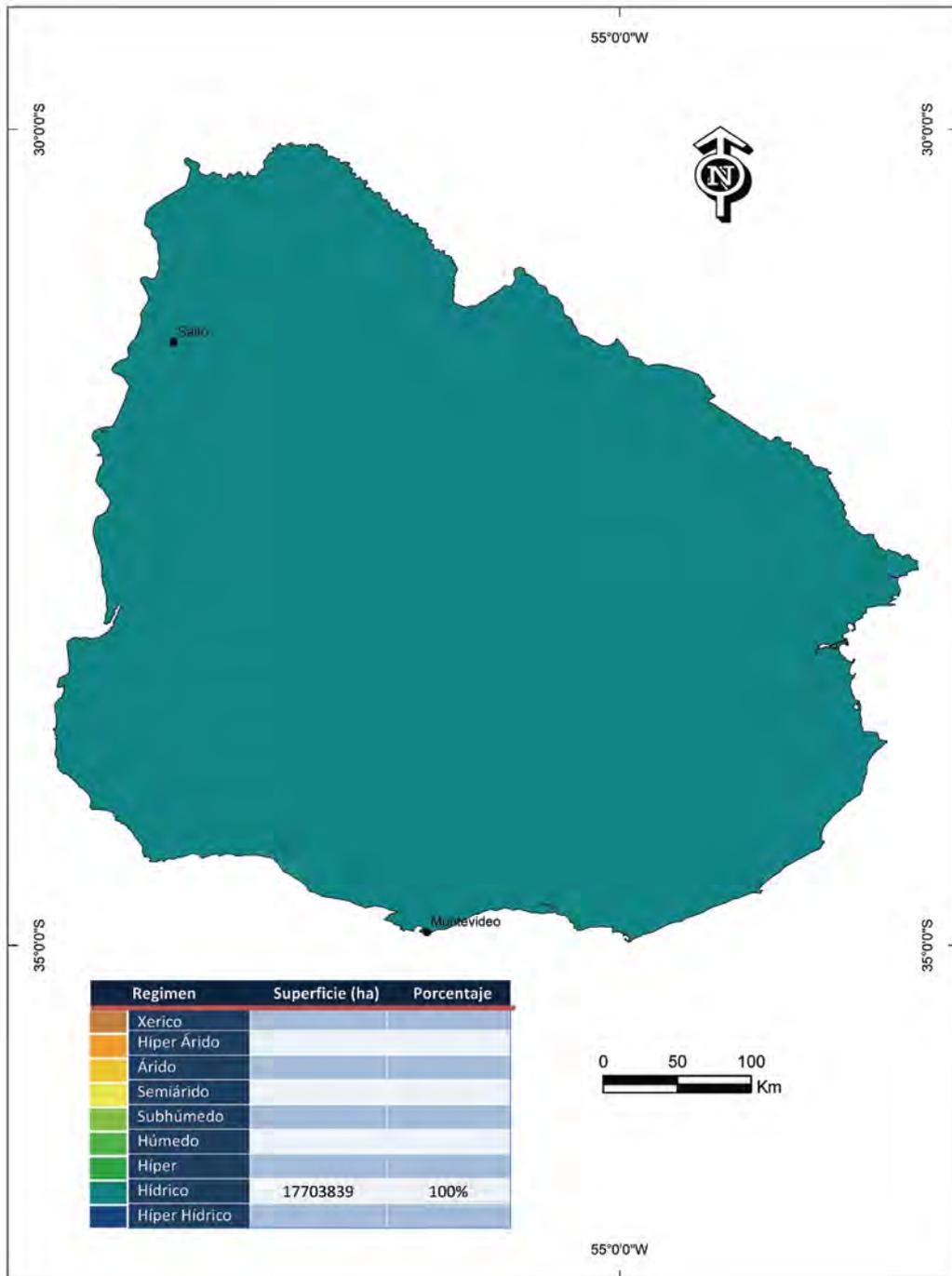
Trinidad

Fecha de creación	14 de abril 2006
Coordinadores CAZALAC	Fernando Santibañez, Koen Verbist
Coordinadores Nacionales	Brian Beckles (Water Resources Agency (WASA))



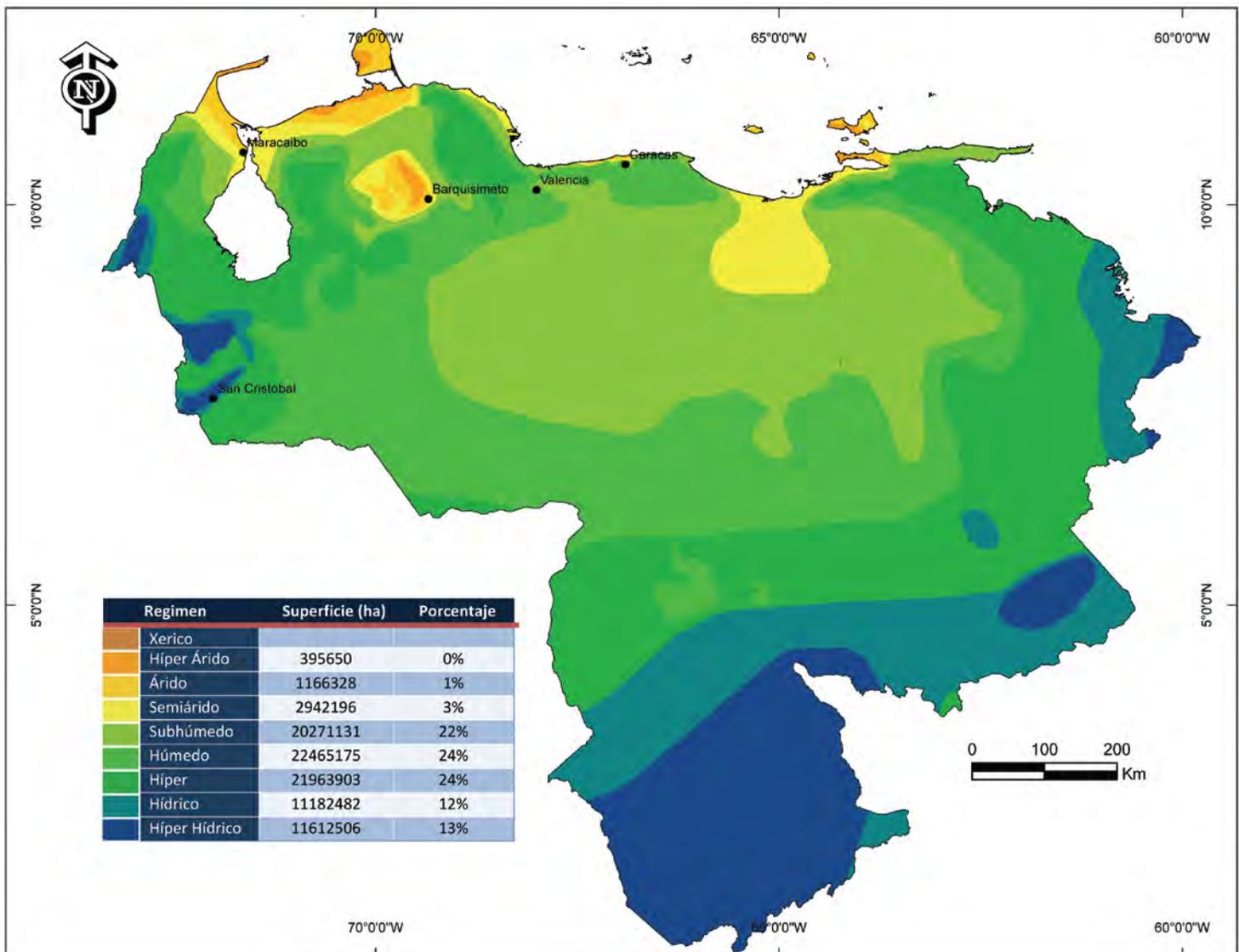
Uruguay

Fecha de creación	3 de julio 2006
Coordinadores CAZALAC	Koen Verbist, Fernando Santibañez
Coordinadores Nacionales	Alfredo Altamirano - RENARE



Venezuela

Fecha de creación	22 de diciembre 2008
Coordinadores CAZALAC	Koen Verbist, Fernando Santibañez
Coordinadores Nacionales	Marelia Puche, Deyanira Lobo, Gennady Bracho, María Martelo (UCV)
Participantes	Víctor Sevilla (PDVSA), Diego Machado, Rodolfo Roa (MARN), Miriam Díaz (CIEZA), Pedro Escalon (FUDECO), Luis García (EDELCA), Jorge Paolini (IVIC), Adriana Florentino (UCV), Juan Comerma (PEQUIVEN), Luis Arias (INIA – UCV), Cristóbal Hernández (Serv. de Meteo., Fuerza Aérea), Francisco Ovalles (INIA), Marco P. Rivero (UCV), Naghely Mendoza (UCV), María Méndez (UCV), Saida Rivero (MARN), Javier Acosta (FUDECO), María F. Rodríguez (INIA), Adriana Cortez (INIA), Lester León (MARN), Rafael Hernández (MARN)



Referencias

- Arnoldus, H.M. 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. En: De Boodt M., and Gabriels D. (Eds) Assessment of erosion. John Wiley and Sons, Inc. Chichester, West Sussex, UK. 127 – 132.
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK). 1996. Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen. Heft. 238.
- FAO, 1984. Agroclimatic Data from Latin America and the Caribbean. Environment and Natural Resources.
- FAO, 2000. World-wide Agroclimatic Data. Environment and Natural Resources, CD-ROM.
- Fournier, F. 1960. Climat et érosion. Ed. Presses Universitaires de France. Paris.
- Jensen, M.E., Burman, R.D., Allen, R.G., 1990. Evapotranspiration and Irrigation Water Requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70. American Society of Civil Engineers, New York.
- Lobo D. L., Gabriels, D., Ovalles F.V., Santibañez, F. Moyano, M.C., Aguilera, R., Pizarro, R., Sangüesa, C. y Urrea, N. 2005. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América Latina y el Caribe. CAZALAC, Chile, 59 p.
- Lu, J.B., Sun, G., McNulty, S.G., Arnatya, D.M., 2005. A Comparison of six potential evapotranspiration methods for regional use in the Southeastern United States. Journal of the American Water Resources Association, 41(3), 621-633.
- Martínez, C.J., Thepadia, M., 2010. Estimating reference evapotranspiration with minimum data in Florida, USA. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000214](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000214).
- Monteith, J.L. 1965. Evaporation and the environment, the state and movement of water in living organisms. XIXth Symposium. Cambridge University Press, Swansea.
- Santibañez, F. 2005. Sistema Cálculo de Indices del Regimen Hídrico (CIRH). Version 2.0. Agrimed, Universidad de Chile, software.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. Geographical Review 38:55-94.
- Turc, L. 1961. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration, potentielle, formule climatique simplifiée et mise a jour. Ann. Agron. 12 :13-49.