

# TESIS DOCTORAL: CLASIFICACIÓN ECOLÓGICA PARA LA REPÚBLICA ARGENTINA A PARTIR DEL MODELO DE ZONAS DE VIDA DE HOLDRIDGE: MAPEO, CARACTERIZACIÓN Y TENDENCIAS DE CAMBIO.<sup>1</sup>

Derguy, María Rosa<sup>2</sup>

## Resumen

La zonificación ecológica es una herramienta fundamental para el manejo del territorio y de los ecosistemas. El modelo de Holdridge es un sistema de zonificación ecológica que identifica unidades bioclimáticas (zonas de vida) en base a variables climáticas, latitud, y altitud. Argentina presenta una gran variabilidad ambiental, sin embargo, actualmente carece de una zonificación ecológica objetiva y detallada. Aunque existen numerosos trabajos que delimitaron el territorio desde otros enfoques, escalas y detalle descriptivo (*e.g.* Cabrera, 1971, 1976; Viglizzo *et al.* 2005; Morello *et al.*, 2012)

El propósito de este proyecto de tesis es identificar y cartografiar las unidades bioclimáticas de Argentina a partir del modelo ecológico de Holdridge como herramienta de aplicación para cuantificar la diversidad ecológica del país, comprender el marco ambiental donde se desarrolla el uso del suelo y la gestión de la conservación de la biodiversidad, y evaluar las posibles consecuencias del cambio climático.

**Palabras clave:** Holdridge, Unidades Bioclimáticas, Conservación, Usos del suelo, Cambio climático.

## Abstract

An essential tool for land and ecosystem management is ecological zoning. The Holdridge life zones system is an ecological zoning model that identifies bioclimatic units (life zones) based on climatic variables, latitude, and altitude. Argentina has great environmental variability however it currently lacks an objective and detailed ecological zoning. The aim of this dissertation is to identify and map the bioclimatic units of Argentina from the Holdridge ecological model as an application tool to quantify the ecological diversity of the country, to understand the environmental framework where land use is developed and the management of the conservation of biodiversity, and to assess the potential consequences of climate change.

**Keywords:** Holdridge, Bioclimatics units, Conservation, Land use, Climate change.

---

<sup>1</sup> Recibido 12/10/17. Aceptado 20/12/17.

<sup>2</sup> Docente investigadora Departamento de Ciencias Ambientales y Turismo, UNDAV, y Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales, Universidad Nacional de La Plata. Becaria Doctoral CONICET-UNDAV. [mrderguy@undav.edu.ar](mailto:mrderguy@undav.edu.ar)

## **Resumo**

O zoneamento ecológico é uma ferramenta fundamental para a gestão do território e dos ecossistemas. O modelo de Holdridge é um sistema de zoneamento ecológico que identifica unidades bioclimáticas (zonas de vida) com base em variáveis climáticas, latitude e altitude. A Argentina tem grande variabilidade ambiental, no entanto, atualmente não possui zoneamento ecológico objetivo e detalhado. O objetivo deste projeto de tese é identificar e mapear as unidades bioclimáticas da Argentina a partir do modelo ecológico de Holdridge como ferramenta de aplicação para quantificar a diversidade ecológica do país, para entender o quadro ambiental onde o desenvolvimento da terra é desenvolvido e para gerenciar a conservação da biodiversidade e para avaliar as possíveis consequências das mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** Holdridge, Unidades bioclimáticas, Conservação, Uso da terra, Mudança climática.

## *Introducción*

El desarrollo de una zonificación ecológica, que permita identificar unidades homogéneas en el territorio, representa un paso fundamental para entender procesos ecosistémicos en el tiempo y en el espacio y sirve como base para la gestión del uso del suelo y la conservación de la biodiversidad (Lugo et al., 1999). En particular, una zonificación ecológica eficiente para esos objetivos debería basarse en variables cuantitativas y ser sensible a los cambios que ocurren en los factores ambientales que afectan el desarrollo o la distribución espacial de los ecosistemas. Para tener aplicación mundial además, debe estar definida por factores con aplicación en este mismo nivel (Céspedes y Tosi, 2000).

Leslie R. Holdridge (1947, 1967, 1979) desarrolló un modelo fundado en la caracterización y cartografiado de unidades bioclimáticas (Figura 1). El modelo tiene una base empírica y objetiva, y define las condiciones del funcionamiento de los ecosistemas a través de su principal unidad ecológica: la zona de vida (Lugo et al., 1999). El concepto de zona de vida fue originalmente desarrollado en 1889 por Clinton H. Merriam (McColl, 2005) como un modo de caracterizar áreas con similares comunidades de plantas y animales. Merriam observó la correspondencia entre (i) los cambios en las comunidades que se desarrollan a similar altitud, al aumentar la latitud, y (ii) los cambios observados, a una similar latitud, al aumentar la elevación. Dadas las relaciones de la latitud y altitud con varios factores climáticos, estas observaciones son una expresión de la importancia de las condiciones climáticas para la existencia de las distintas formas de vida y de las fisonomías de la vegetación (McColl, 2005).

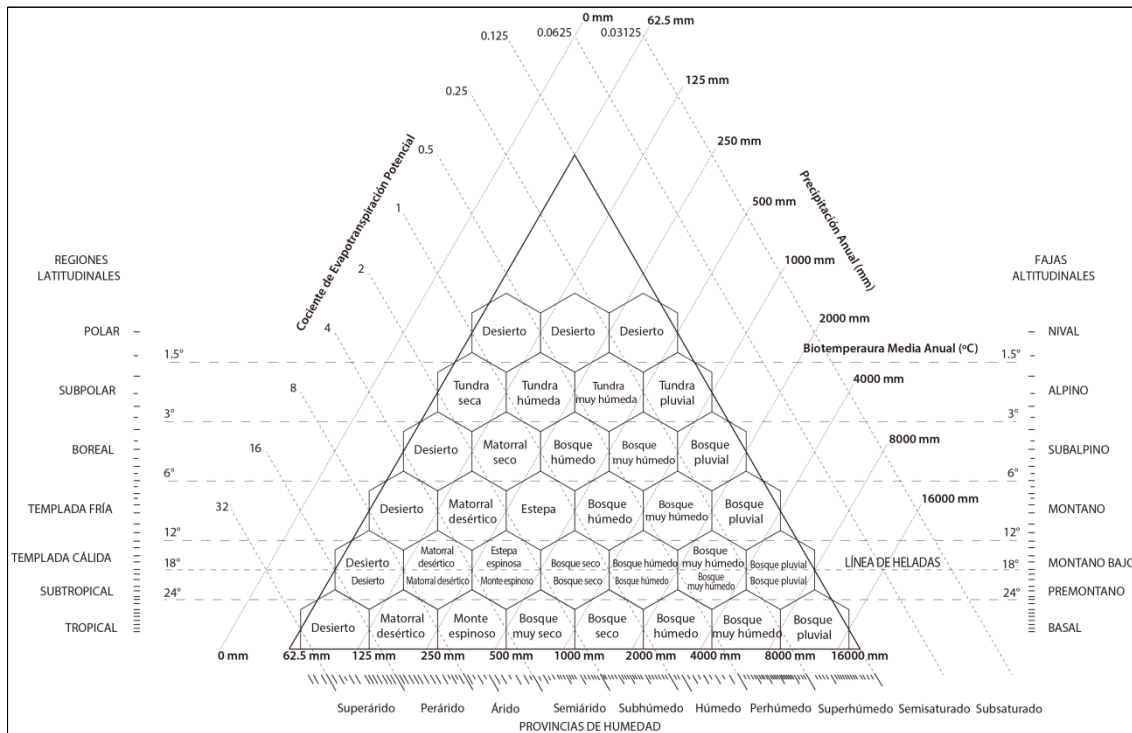


Figura 1. Sistema de clasificación de zonas de vida de Holdridge. Fuente: Derguy *et al.* (2017).

Una zona de vida de acuerdo al modelo de Holdridge (1947) es un conjunto natural de asociaciones que emplea tres variables limitantes para el desarrollo de procesos biológicos expresadas en escala logarítmica: (i) la biotemperatura media anual, (ii) la precipitación total anual media y (iii) el cociente de evapotranspiración potencial (Figura 1). La biotemperatura media anual es un promedio de las temperaturas a las cuales se estima que tiene lugar el crecimiento vegetativo, en relación con el período anual (Holdridge, 1967). La Precipitación total anual media es la cantidad de agua líquida y sólida caída cada año por unidad de superficie. La evapotranspiración potencial (EVP) es la cantidad de agua máxima que puede evaporar y transpirar un ecosistema por unidad de superficie. Holdridge (1967) para su modelo emplea una ecuación de cálculo de la EVP a partir de la biotemperatura. El cociente de evapotranspiración potencial (EVP/P) es el cociente entre la evapotranspiración potencial y la precipitación total anual media. Esta relación resulta un buen indicador de las condiciones de humedad ecosistémica (Yue *et al.*, 2001). Estas variables bioclimáticas en conjunto con la altitud definen tres sistemas de zonificación: (i) Latitudinal, en función de la distribución del calor a nivel del mar (biotemperatura basal), (ii) Altitudinal, en función de la distribución de calor a nivel de superficie (biotemperatura) y (iii) de Humedad, en función del cociente de evapotranspiración potencial (provincias de humedad).

Por otra parte, las zonas de vida tienen una denominación que hace referencia a tipos fisonómicos de vegetación, la que refleja el empleo de la vinculación entre clima y vegetación antes mencionada. Sin embargo, los nombres de las zonas de vida pueden no corresponder con la cobertura natural del terreno. Debido a que la zona de vida es

una unidad bioclimática, que constituye únicamente la primera categoría jerárquica de las divisiones ambientales del modelo de Holdridge, y no incluye otros factores que afectan el tipo de vegetación como, suelos, drenaje, pendiente, fuertes vientos o nieblas y los variados patrones de distribución de la precipitación (Jiménez-Saa, 1993). Estos factores sí se consideran en un segundo nivel de clasificación: la asociación, unidad natural en la que la vegetación, la geografía física, la formación geológica y el suelo, están interrelacionados en una combinación reconocida y única, que tiene un aspecto o fisonomía típica (Holdridge, 1979).

Las principales innovaciones del sistema de zonas de vida fueron el empleo de la expresión del factor calor por medio de la biotemperatura y el uso de una progresión logarítmica en los incrementos del calor y la precipitación para obtener cambios significativos en las unidades de vegetación natural (Matteucci y Colma, 1982).

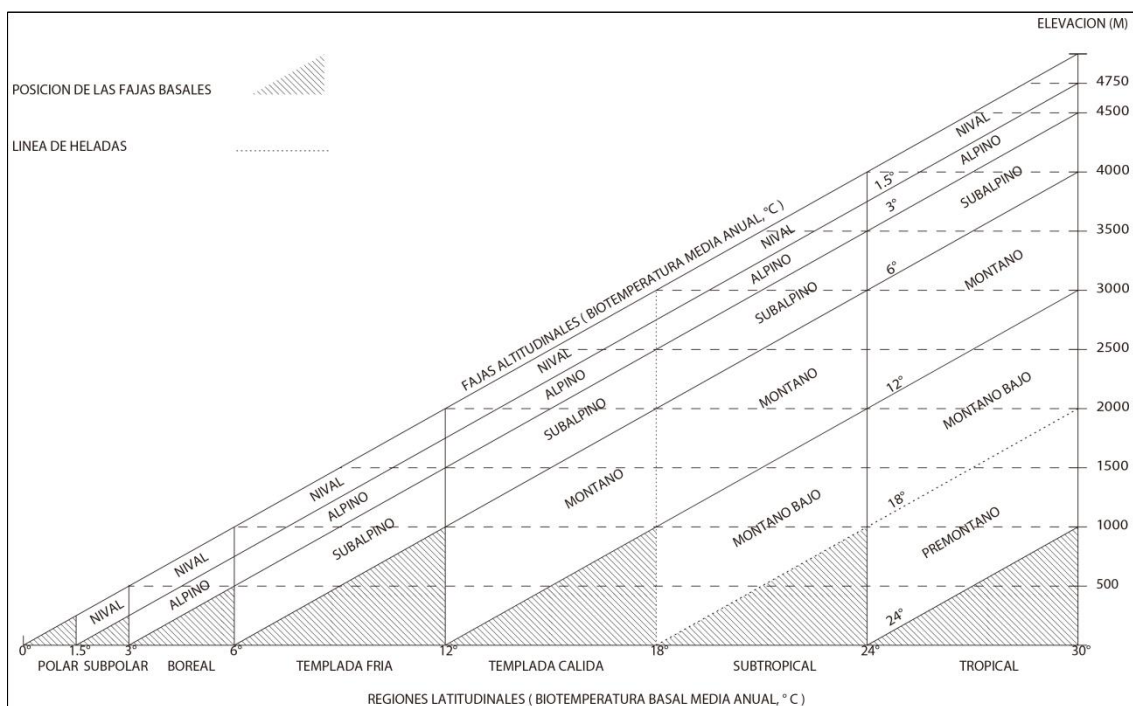


Figura 2. Regiones latitudinales y fajas altitudinales del sistema de zonas de vida de Holdridge. Fuente: Derguy *et al.* (2017).

El modelo ecológico de Holdridge fue aplicado principalmente en las zonas tropical y subtropical de las Américas: Perú (Tosi, 1960), Honduras (Holdridge, 1962a), Colombia (Espinal y Montenegro, 1963), Venezuela (Ewel y Madriz, 1968), Paraguay (Holdridge, 1969), Costa Rica (Tosi, 1969), Panamá (Tosi, 1971), Puerto Rico (Ewel y Whitmore, 1973), Bolivia (Unzueta, 1975), Brasil (Tosi, 1983; Tres, 2016), Nicaragua (Holdridge, 1962b; Mendoza *et al.*, 2001). Así como también, en los Estados Unidos (Lugo *et al.*, 1999), la República Popular China (Yue *et al.*, 2001), la India (Chakraborty *et al.*, 2013) y Rusia (Krankina *et al.* 1997; Kirilenko y Salomon 1998; Wieder *et al.* 2006). También se desarrolló un mapa global de zonas de vida a escala de poco detalle (IIASA, 1989).

### *Objetivos propuestos*

1. Generar una clasificación ecológica para la República Argentina basada en el modelo de zonas de vida de Holdridge e identificar el número, distribución y superficie ocupada por las distintas zonas de vida.
2. Analizar la concordancia entre la clasificación por zonas de vida y la delimitación geográfica de las ecorregiones del país así como la distribución areal de áreas protegidas del país en las zonas de vida.
3. Analizar la concordancia entre la clasificación por zonas de vida y la distribución geográfica de los principales usos de la tierra.
4. Analizar la tendencia de cambio de las zonas de vida ante diferentes escenarios de cambio climático identificados por modelos disponibles para Argentina y su potencial incidencia sobre el uso de la tierra, y la conservación en cada zona sobre la base de los puntos anteriores.

### *Metodología*

Para cumplir con el objetivo específico “generación del mapa de zonas de vida” se usó como información de base, datos en formato ráster provenientes del Atlas Climático Digital de la República Argentina del INTA (Bianchi & Cravero 2010). Las variables bioclimáticas (biotemperatura, precipitación, evapotranspiración potencial) fueron estimadas y luego procesadas en este formato. La evapotranspiración potencial fue calculada de acuerdo al método original de Holdridge (1967).

Estas variables fueron clasificadas en los distintos rangos logarítmicos propuestos por la clasificación de Holdridge y luego vinculadas mediante el proceso de estaqueo de capas para definir las zonas de vida. Aquellas zonas que se identificaron dentro de áreas de contacto entre hexágonos de diferentes pisos térmicos fueron resueltas a través de una clasificación supervisada de distancias mínimas. Se obtuvieron así las provincias de humedad y las provincias térmicas para la Argentina según Holdridge. Estos resultados se integraron a los datos altimétricos obtenidos del Modelo Digital de Elevación Shuttle Radar Topography Mission provisto por la USGS (<http://earthexplorer.usgs.gov/>) para definir las regiones latitudinales. A fin de evaluar la congruencia de datos climáticos de distintas fuentes se correlacionaron los datos de biotemperatura y precipitación provenientes del INTA con los obtenidos a partir de la base de datos del SMN. Se tomó un período de 30 años para obtener los promedios de las variables.

### *Resultados preliminares*

Regiones latitudinales, fajas altitudinales y provincias de humedad.

Se definieron para el territorio argentino cinco regiones latitudinales y 7 fajas altitudinales.

Las cinco regiones latitudinales definidas, desde Tropical a Boreal, de acuerdo a la nomenclatura de Holdridge (1967). La región latitudinal más extensa es la

Templada Cálida (45 % del territorio), distribuida en el centro y parte del sur del país, seguida por la Región Subtropical (33 %) con una distribución en el norte y noreste del país. La región de menor extensión fue la Boreal con menos del 1 % al sur del territorio. Las regiones Tropicales y Subtropicales cuentan con el mayor número de zonas de vida (24-25), seguidas por las regiones Templadas (15-16) y por último la Boreal (3).

Las siete fajas altitudinales definidas, desde Basal a Nival, de acuerdo a la nomenclatura de Holdridge (1967), presentan una distribución espacial heterogénea. La faja altitudinal más extensa es la Faja Basal (59 % del territorio), lo que reflejó la gran extensión de las tierras bajas (o con alturas aproximadas menores a 1500 m snm). La faja de menor extensión fue la Nival con menos del 1 % del territorio.

#### Provincias de humedad

La distribución de las zonas de vida en las provincias de humedad incluyó desde Provincias Superáridas a Subsaturadas. Las provincias de humedad que ocuparon mayor extensión fueron la Semiárida (978.000 km<sup>2</sup>) y Subhúmeda (875.565 km<sup>2</sup>). Esto implica que cerca del 63 % del territorio presentó niveles de evapotranspiración potencial (EVP) que fueron de 2 a 4 veces superiores a la precipitación total acumulada (PTA), según el modelo. Mientras que 604.224 Km<sup>2</sup> presentaron valores equivalentes entre EVP y PTA, correspondientes a la provincia Húmeda. Se determinaron también áreas donde la EVP fue inferior a la PTA representando el 3.4 % con 95.109 km<sup>2</sup>. Por último, 11,1 % del territorio resultó ser Árido a Superárido con un cociente de evapotranspiración potencial que presentó valores de 4 a 32.

#### Zonas de vida

Se determinó un total de ochenta y tres zonas de vida (Figura 3). Las zonas de vida de mayor extensión geográfica se hallaron en la Región Subtropical y Templada Cálida incluyeron el Bosque Seco Templado Cálido (433.600 km<sup>2</sup> o 15 %), Bosque Seco Subtropical (276.300 km<sup>2</sup> o 9 %), Estepa Espinosa Templada Cálida (227.900 km<sup>2</sup> u 8 %), y Matorral Desértico Montano Templado Cálido (192.614 km<sup>2</sup> o 7 %). Las de menor extensión incluyeron: Bosque Muy Húmedo Montano Bajo Tropical (170 km<sup>2</sup>), Tundra Muy Húmeda Alpina Templada Cálida (183 km<sup>2</sup>) y Tundra Húmeda Alpina Subtropical (234 km<sup>2</sup>).

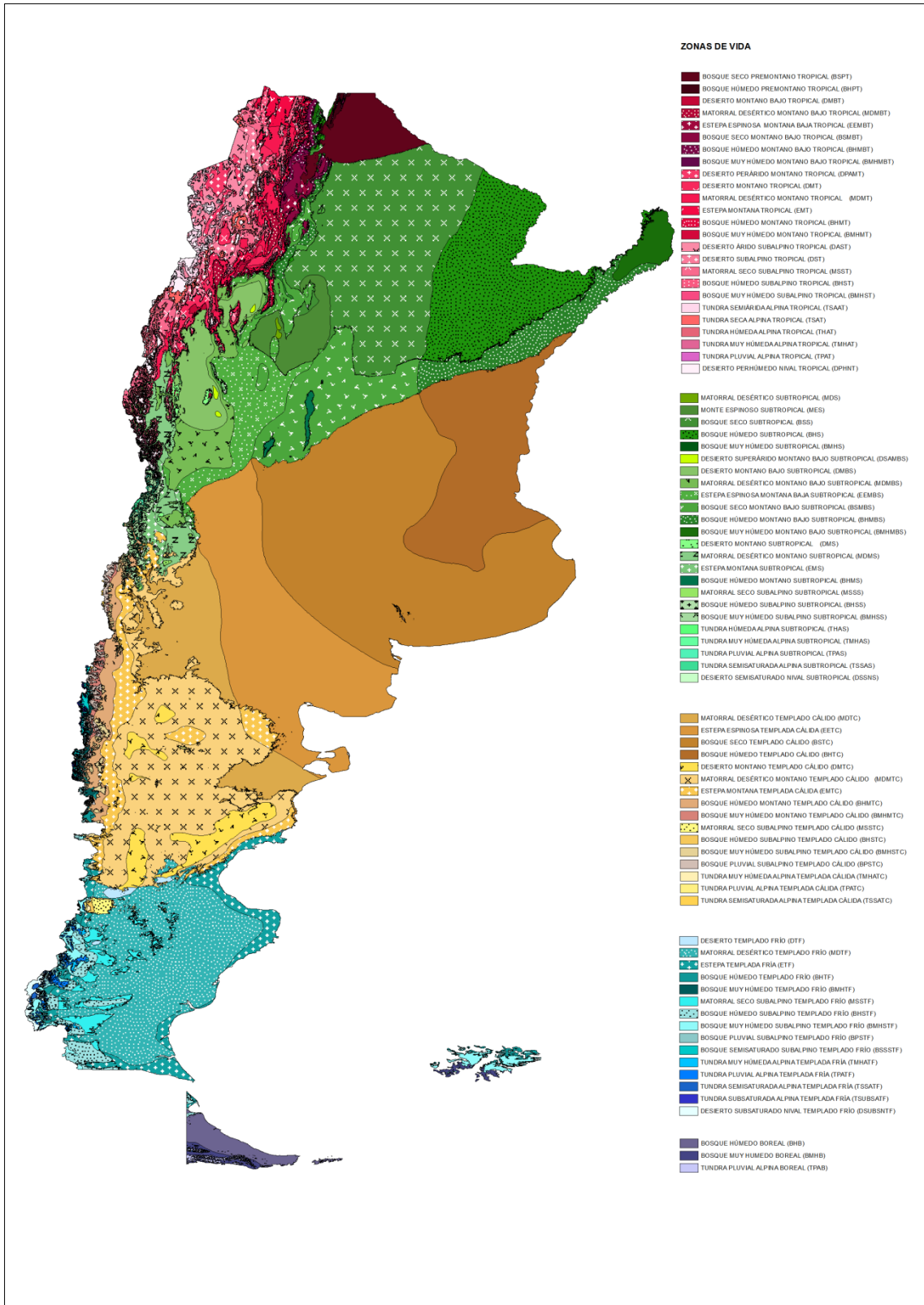


Figura 3. Mapa de Zonas de Vida de Argentina. Fuente: Derguy *et al.* 2017

## Conclusiones

Entre sus posibilidades de aplicación el modelo de Holdridge está siendo utilizado en el estudio de respuestas ecológicas a cambios climáticos. Las oscilaciones climáticas ya sean teleconexiones (ENSO) o tendencias de cambio climático global generan que los sistemas ecológicos estén bajo constante presión de cambio. Es así que la integración del modelo de Holdridge con datos climáticos en escenarios futuros permitiría generar predicciones y planificaciones en el uso del suelo, desarrollo y conservación, más eficaces para nuestro territorio. Son numerosos los grupos de investigación internacional que siguen estas líneas de trabajo sobre la base del sistema de Holdridge (Stevenson, 1985; Chen et al. 2003; Loescher et al. 2005; Yates et al. 2000; Yue et al. 2001; Smith y Lazo 2001; Elberg Nielsen et al. 2014; entre otros).

La aplicación de la zonificación ecológica basada en Holdridge para la República Argentina permitiría evaluar, en un contexto espacial y climático el impacto de las diferentes actividades antrópicas, las tendencias al cambio derivadas de dichas actividades y las tendencias al cambio derivadas de cambios climáticos (Stevenson, 1985; Ewel, 1999; Yates et al. 2000; Yue et al. 2001; Smith y Lazo 2001; Chen et al. 2003; Loescher et al. 2005; Elberg Nielsen et al. 2014, Barros et al 2015).

## Bibliografía

- Barros, V.R., Boninsegna, J. A., Camilloni, I.A., Chidiak, M., Magrín, G.O., y Rusticucci, M. (2015). "Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation.". *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6 (2): 151-169.
- Bianchi, A.R. y Cravero, S.C. (2010). *Atlas climático digital de la República Argentina*. Ediciones INTA, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Buenos Aires.
- Cabrera, A. L. (1971). "Fitogeografía de la República Argentina.". *Boletín de la Sociedad Argentina Botánica*, 14(12): 1-42.
- Cabrera, A.L. (1976). "Regiones fitogeográficas argentinas.". *Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería*, Vol. 1. Editorial Acme, Buenos Aires.
- Céspedes, V.W. y Tosi, J.A. (2000). "El sistema de zonas de vida". *Biocenosis* (Especial), 13(1): 2-9.
- Chakraborty, A., Joshi, P.K., Ghosh, A. y Areendran, G. (2013). "Assessing biome boundary shifts under climate change scenarios in India". *Ecological indicators*, 34: 536-547.
- Chen, X., Zhang, X.S., y Li, B.L. (2003). "The possible response of life zones in China under global climate change.". *Global and planetary change*, 38(3):327-337.
- Derguy, M.R., Frangi, J.L., Drozd, A.A., Arturi, M.F. y Martinuzzi, S. (2017). "Holdridge Life Zone Map Republic of Argentina". USDA Forest Service, International Institute of Tropical Forestry General Technical Report (IITF-GTR) (en prensa).
- Elberg Nielsen, A. S., Plantinga, A.J., y Alig, R.J. (2014). "Mitigating climate change through afforestation: New cost estimates for the United States". *Resource and Energy Economics*, 36(1) :83-98.



- Espinal, L.S. y Montenegro, E.M. (1963). "Zonas de vida o formación vegetal de Colombia: Memoria explicativa sobre el mapa ecológico". *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*, Volumen 13, Bogotá.
- Ewel, J., Madriz, A. y Tosi, J.A. Jr. (1968). *Zonas de vida de Venezuela: Memoria explicativa sobre el mapa ecológico*. Ministerio de Agricultura y Cría, Dirección de Investigación. Caracas.
- Ewel, J. J. y Whitmore, J.L. (1973). *The Ecological Life Zones of Puerto Rico and The U. S. Virgin Islands*. ITF, USDA Forest Service, Puerto Rico.
- Ewell, J.J. (1999). "Natural systems as models for the design of sustainable systems of land use". *Agrofor Syst*, 45:1-21.
- Holdridge, L.R. (1947). "Determination of plant world formations from simple climatic data". *Science*, 105 (2727): 367-368.
- Holdridge, L.R. (1959). "Simple method for determining potential evapotranspiration from temperature data". *Science*, 130(3375): 572-572.
- Holdridge, L.R. (1962a). *Mapa Ecológico de Honduras. Informe oficial Misión 105 a Honduras*. OEA, Washington D. C.
- Holdridge, L.R. (1962b). *Mapa Ecológico de Nicaragua*. USAID, Managua, Nicaragua.
- Holdridge, L.R. (1967). *Life zone ecology*. Tropical Science Center, San José, Costa Rica.
- Holdridge, L.R. (1969). *Estudio ecológico de los bosques de la Región oriental del Paraguay*. Informe del Ministerio de Agricultura y Ganadería, Gobierno de Paraguay, Asunción.
- Holdridge, L.R. (1979). *Ecología basada en las zonas de vida*. IICA, San José, Costa Rica (Traducción en español de la primera edición revisada: Holdridge, L. R. 1967. *Life zone ecology*. Tropical Science Center, San José, Costa Rica).
- International Institute for Applied Systems Analyses (IIASA). (1989). *Holdridge Life Zone Global Map*. FAO  
<http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/metadata.show?currTab=simple&id=1006>
- Jiménez-Saa , H. (1993). "Anatomía del sistema de ecología basada en zonas de vida de LR Holdridge". Curso internacional de ecología basada en zonas de vida, San José, CR, 22 febrero-13 marzo.
- Kirilenko, A.P. y Solomon, A.M. (1998). "Modeling Dynamic Vegetation Response to Rapid Climate Change Using Bioclimatic Classification". *Climatic Change*, 36 (January), 197–216. <http://doi.org/10.1023/A>
- Krankina, O.N., Dixon, R.K., Kirilenko, A.P. y Kobak, K.I. (1997). "Global climate change adaptation: Examples from Russian boreal forests". *Climatic Change*, 36(1–2): 197–215.
- Loescher, H.W., Gholz, H.L., Jacobs, J.M., y Oberbauer, S.F. (2005). "Energy dynamics and modeled evapotranspiration from a wet tropical forest in Costa Rica". *Journal of Hydrology*, 315(1), 274-294.
- Lugo, A.E., Brown, S.L., Dodson, R., Smith, T.S. y Shugart, H.H. (1999). "The Holdridge life zones of the conterminous United States in relation to ecosystem mapping". *Journal of Biogeography*, 26(5): 1025-1038.

- Matteucci, S.D. y Colma, A. (1982). *Metodología para el estudio de la vegetación*. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico. Washington DC. Serie Biología, monografía N° 22.
- McColl, R.W. (2005). *Encyclopedia of World Geography*. Vol. 1. Infobase Publishing.
- Mendoza, F., Chévez, M. y González, B. (2001). “Sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático”. *Revista Forestal Centroamericana*, 33: 17-22.
- Mission SRT (2001). “Mission Overview”. *Frequenz*, 55: 3-4. Fuente: <http://earthexplorer.usgs.gov/>
- Morello, J., Matteucci, S.D., Rodriguez, A.F. y Silva, M.E. (2012). *Ecorregiones y Complejos Ecosistémicos de Argentina*. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires.
- Smith, J.B. y Lazo, J.K.(2001). “A summary of climate change impact assessments from the US Country Studies Program”. *Climatic Change*, 50(1-2), 1-29.
- Stevenson, M.P. (1985). “Climatic change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes.” *Climatic change*, 7(1), 29-43).
- Tosi, J.A. Jr. (1960). *Zonas de vida Natural en el Perú. Memoria Explicativa sobre el Mapa Ecológico del Perú*. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA Zona Andina.
- Tosi, J.A. Jr. (1969). *Mapa ecológico de Costa Rica: Según la clasificación de zonas de vida del mundo de Holdridge*. Escala 1:750.000. Centro Científico Tropical, San José, Costa Rica.
- Tosi, J.A. Jr. (1971). *Zonas de vida de Panamá: una base ecológica para investigaciones silvícolas e inventariación forestal en la República de Panamá*. Programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, Roma, Italia.
- Tosi, J.A. Jr. (1983). *Provisional Life Zone Map of Brazil at 1:5.000.000 scale*. Institute of Tropical Forestry, USDA-FS, Río Piedras, Puerto Rico.
- Tres, A. (2016). “Classificação climática para o Brasil segundo as zonas de vida de Holdridge”. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 12/08/2016.
- Unzueta, Q. (1975). *Mapa Ecológico de Bolivia. Memoria explicativa. Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios*. División de Suelos, Riego e Ingeniería. República de Bolivia.
- Viglizzo, E.F., Frank, F.C. y Carreño, L. (2005). “Situación ambiental en las ecorregiones Pampa y Campos y Malezales.”. En A. Brown, U. Martinez Ortiz, M. Acerbi y J. Corcuera (eds.) *La situación ambiental argentina*. Fundación Vida Silvestre Argentina. Bs. As. Pp. 263-269. Disponible en <http://oab.org.ar/capitulos/cap01.pdf> (obtenido 27/12/17)
- Wieder, R.K., Vitt, D.H. y Benscoter, B.W. (2006). “Peatlands and the Boreal Forest”. *Ecological Studies*, 188: 1689–1699.
- Yates, D.N., Kiittel, T.G.F., Figge Cannon, R. (2000). “Comparing the correlative Holdridge Model to Mechanistic Biogeographical Models for Assessing Vegetation Distribution Response to Climatic Change”. *Climatic Change*. 44: 59-87.

Yue, T., Liu, J., Jørgensen, S.E., Gao, Z., Zhang, S. y Deng, X. (2001). "Changes of Holdridge life zone diversity in all of China over half a century". *Ecological Modelling*, 144(2): 153-162.

Mosaico de imágenes satelitales del satélite argentino SAC-C. Provisto por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). [www.conae.gov.ar](http://www.conae.gov.ar). Autor: JMP.

