

---

# Distribución potencial

---

## de cultivos agrícolas en el estado Mérida (Venezuela), en escenarios de cambio climático

---

Potential distribution of crops in Mérida State (Venezuela),  
under climatic change scenarios

**Yorman Paredes Márquez<sup>1</sup>**

**Eulogio Chacón-Moreno<sup>2, 3</sup>**

1 Universidad de Los Andes, Facultad de Medicina, Escuela de Medicina

2 Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias

Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Mérida, Venezuela

3 Universidad de Lleida, Departamento de Producción Vegetal y Ciencia Forestal, ETSEA

Comunidad Autónoma de Cataluña, España

paredesy@gmail.com; paredesy@ula.ve; eulogio.chacon@gmail.com; eulogio@ula.ve;

eulogio.chacon@udl.cat

Paredes Márquez: <https://orcid.org/0000-0002-0319-7641>

Chacón-Moreno: <https://orcid.org/0000-0002-5837-5505>

---

### Resumen

Se presenta la distribución potencial de cultivos en el estado de Mérida, utilizando modelos de distribución basados en datos recopilados en el campo y variables ambientales, y su distribución potencial en escenarios de cambio climático (CC). Se registró la presencia y ausencia de los cultivos: papa, zanahoria, café, cacao y plátano, y se estimó estadísticamente la distribución de cada uno. Con base en las trayectorias de concentración representativas (RCP), se desarrollaron modelos espaciales en escenarios CC. El cultivo de cacao muestra un área potencial de 3,62%, mientras que el cultivo de café de sombra presenta un área posible de 20,33%. Los modelos espaciales actuales tienen un alto potencial climático para la distribución de cultivos de papa y café de sombra. En los escenarios CC, el café disminuyó el área ideal, mientras que los cultivos de papa en 2100 pierden el 69% del área potencial.

**PALABRAS CLAVE:** distribución potencial; cambio climático; papa; cacao; plátano; zanahoria; café; modelos espaciales.

### Abstract

Potential distribution of crops in the state of Mérida is proposed using a models based on field data collection and environmental variables and its potential distribution in climate change scenarios (CC). The presence and absence of crops: potato, carrot, coffee, cocoa, and banana were registered, and the distribution for each was statistically estimated. Based on the representative concentration trajectories (RCP), spatial models were developed in CC scenarios. The cocoa crop shows a potential area of 3,62%, while the shade coffee crop presents a possible area of 20,33%. Current spatial models have a high climatic potential for the distribution of potato and shade coffee crops. In CC scenarios, coffee decreased the ideal area, while potato crops by 2100 lose 69% of the potential area.

**KEYWORDS:** potential distribution; climate change; potatoes; cocoa; banana; carrot; coffee; spatial models.

## 1. Introducción

El crecimiento de las poblaciones humanas ha generado un aumento de la demanda de servicios y alimentos, conduciendo a una mayor presión en áreas rurales y agrícolas. Los Andes venezolanos son una de las áreas de mayor diversidad de ambientes que permite el desarrollo de innumerables cultivos agrícolas. La distribución de los cultivos agrícolas, como especies vegetales, está condicionada a diversos factores, principalmente asociados al clima, las variaciones topográficas, disponibilidad de recursos como agua o nutrientes, entre otros. En el caso de las montañas andinas la temperatura constituye uno de los factores determinantes en la distribución de especies (Arzac *et al.*, 2011; Suarez y Chacón-Moreno, 2011; Chacón-Moreno y Suárez, 2020). Un segundo importante factor determinante en la distribución de los cultivos agrícolas en los Andes, es la cantidad y frecuencia de las precipitaciones; cualquier cambio en los patrones de precipitación tendrían un gran impacto, especialmente para las tierras altas (Andressen, 2007; Chacón-Moreno y Suárez, 2020).

Esta alta diversidad de ambientes y el potencial de distribución de cultivos agrícolas pueden verse seriamente afectadas por el cambio climático, debido a que los Andes incluye zonas de mayor susceptibilidad a los impactos generados por este (Andressen, 2007; Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2013). Los sistemas montañosos son potencialmente vulnerables a los impactos del cambio climático, debido a la combinación de cambios en los condicionantes biofísicos como la temperatura y la humedad, y a las limitadas posibilidades para la migración de especies a espacios geográficos más favorables (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático, 2013).

En los últimos años en Venezuela se ha observado un cambio en la variabilidad climática, tanto para la temperatura como para la precipitación;

entre 1940 y 2002 las temperaturas mínimas han aumentado  $0,37\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  años y la precipitación ha disminuido (Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, 2005). En escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero y modelos climáticos de tipo intermedio, se espera que en el país tenga un incremento de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y disminución de las precipitaciones (Ministerio del Poder Popular para Ecosocialismo y Agua, 2017). La Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales - Secretaría Académica de Cambio Climático, en el 2018, indicó un posible incremento de temperatura para Venezuela en un escenario desfavorable (RCP 8,5) de máximo  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y disminución de  $23,5\%$  de precipitación, esto indica que actualmente el país no está preparado para mitigar o afrontar cualquier variabilidad climática; la vulnerabilidad del país ante el cambio climático es extremadamente alta. Una serie de posibles escenarios de cambio climático para los Andes venezolanos, con base en los modelos climáticos integrados en el marco de la quinta fase del proyecto de comparación de modelos acoplados (*Coordinated Modelling Intercomparison Project Phase 5: CMIP5*), (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2013), muestra que para un escenario medianamente optimista (RCP 4.5) podríamos tener para finales del siglo, temperaturas con  $2$  a  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  por encima del promedio del período de referencia (1986-2005), y disminución de las precipitaciones cercanas a  $0,1\text{ mm día}^{-1}$ .

Pronosticar la respuesta de las especies a las condiciones climáticas es complicado, ya que las especies responde de diferentes formas, dependiendo de su ecología, ambientes e historia evolutiva (Daniels y Veblen, 2004). Para cuantificar y relacionar las especies con su medio ambiente se han propuesto modelos que permiten relacionar los factores ambientales con la distribución de las especies (Guisan y Zimmermann, 2000).

En el área de agrícola, modelos para determinar la distribución potencial han sido usando en Reino Unido para 26 cultivos de bioenergía usando el modelo de UKCIPO2 en escenarios de baja, media y alta emisión (Bellarby, *et al.*, 2010). En Costa Rica se usó el modelo de selección de aleatoriedad de remplazo para los escenarios RCP 4,5 y RCP 6,0 en cultivos de arroz, piña y caña de azúcar (Coto *et al.*, 2017). En Ecuador se analizó la distribución potencial de cultivo de papa para el sector Cantón Mejías bajo escenario de cambio climático, usando el modelo bioclimático UPGMA (Mosquera, 2018).

En este trabajo abordamos el estudio y análisis de la distribución de cultivos, partiendo de su distribución actual con base en la recolección de datos de presencia/ausencia en campo, lo cual permite realizar un modelo empírico de distribución gaussianiana, alimentado con datos bibliográficos sobre su distribución y características de respuesta a los factores ambientales. Este enfoque permite ser específico sobre la manera en que los cultivos

están distribuidos en la región andina del estado Mérida. Adicionalmente, los modelos de distribución potencial de cultivos son acondicionados a los escenarios de cambio climático en sus diferentes proyecciones, de manera de determinar su distribución frente a un posible cambio en las condiciones climáticas.

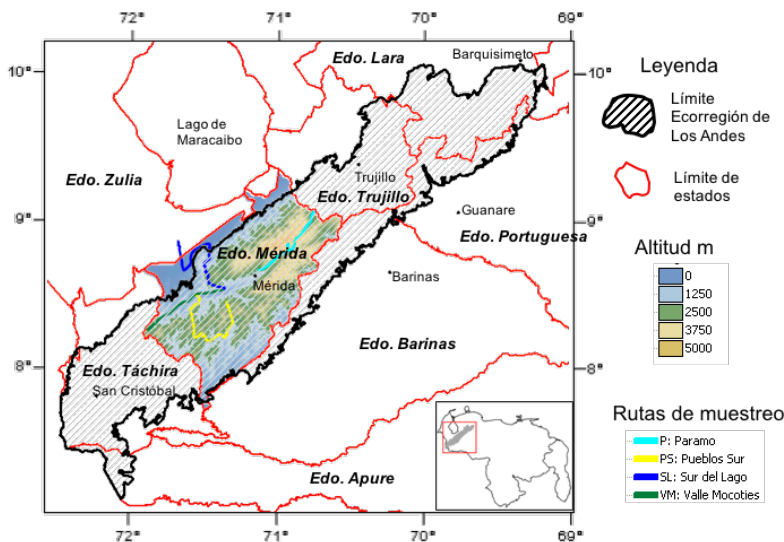
## 2. Metodología

### 2.1 Área de estudio

El área de estudio es el estado Mérida; se encuentra localizado en el occidente del país, hacia la parte central de los Andes venezolanos entre los 7° 39' 53" y 9° 19' 51" de latitud norte y los 70° 32' 23" y 71° 54' 54" de latitud oeste. Cuenta con una extensión geográfica de aproximada 11.300 km<sup>2</sup> que representa el 1,24% del territorio nacional (FIGURA 1).

Orográficamente, el estado Mérida es mayoritariamente montañoso y, específicamente, es atravesado por la cordillera de Mérida (Vivas, 1992). Esta dinámica geomorfológica, que conti-

FIGURA 1. Ubicación geográfica del estado Mérida en el contexto nacional, y dentro de la ecorregión de los Andes. Se identifican en el área del estado Mérida las diferencias altitudinales y las rutas de muestreo y recolección de datos



núa, genera grandes planicies de deposición con terrazas y conos, donde se asientan las principales zonas de producción agrícola (Andressen, 2007).

Para los Andes venezolanos, se han reconocido 16 diferentes ecosistemas (Josse *et al.*, 2009; Chacón-Moreno *et al.*, 2013), lo cual representa la alta diversidad de ambientes, que genera el gran potencial de distribución de cultivos. Respecto a la distribución de cultivos agrícolas y zonificación agrícola en el estado Mérida, Gómez y Azócar (2002), con base en el Censo Agrícola de Venezuela de 1997, dividen el estado en zonas de uso agrícola, entre ellas están: **a)** Metropolitana, con un área de 32% actividades agropecuarias; **b)** Sur del Lago, la superficie de uso agropecuario se estima en un 39%; **c)** Valle del Mocotíes, con una superficie estimada en 41%; **d)** pueblos del Sur, con una superficie aproximada de 15%; y **e)** Páramo, con una superficie bajo uso agropecuario de 9%.

## 2.2 Selección de cultivos

La selección de los cultivos a modelar partió de un análisis bibliográfico sobre la producción y características agrícolas de diversos productos (Paredes, 2014), con base en los siguientes criterios: **a)** cultivos importantes para el sustento y la seguridad alimentaria del país; **b)** porcentaje alto de áreas cultivadas dentro el estado; **c)** rangos de temperatura o precipitación conocidos para cada cultivo; **d)** cultivos sensibles a cambios en la variabilidad climática. Se seleccionaron los siguientes rubros: papa, zanahoria, café bajo sombra, café de sol, cacao, y plátano.

## 2.3 Modelo de distribución de cultivos

Para la elaboración de los modelos predictores de las respuestas de los cultivos agrícolas frente a los factores ambientales, se siguió los enfoques para desarrollar modelos de distribución de especies (Guisan y Zimmermann, 2000; Hijmans *et al.*, 2005; Arundel 2005; Graham & Hijmans, 2006;

Chacon-Moreno, 2007; Arzac, 2008; Suárez, 2009; Arzac *et al.*, 2011; Suárez y Chacón-Moreno, 2011). Este enfoque tiene dos fases, la primera consistió en la recolección de datos en campo y la segunda comprendió la formulación y calibración estadística del modelo de respuesta de los cultivos agrícolas con los factores ambientales.

### 2.3.1 Recolección de datos de campo

Se realizaron cuatro exploraciones a las distintas zonas agrícolas dentro del estado Mérida, con el propósito de determinar la presencia y ausencia de los distintos principales cultivos seleccionados: papa, zanahoria, café bajo sombra, café de sol, cacao y plátano. La recolección de datos se dividió por zona de uso agrícola y por trayectos (FIGURA 1). Los recorridos a las zonas de uso agrícola fueron: **a)** Páramo con los trayectos Timotes-Apartaderos, y Apartaderos-Tabay; **b)** Valle del Mocotíes con el trayecto Bailadores-Estanques; **c)** Zona Metropolitana con el trayecto Estanques-Ejido y Lagunillas-La Trampa; **d)** Zona Sur del Lago con los trayectos La Trampa-La Azulita y La Azulita-Zona Sur del Lago de Maracaibo; y **e)** por último Pueblos del Sur con el trayecto Estanques-Pueblos del Sur.

En cada trayecto se tomaron en cuenta los cambios de altitud, pendiente, radiación e infraestructura. Cada uno de estos registros se realizó en intervalos de 50 metros altitudinales. En cada punto registrado se tomó un área aproximada de 5 km alrededor del mismo, tratando de tomar las vías cercanas o vías agrícolas, y así poder registrar la presencia y ausencia de los seis cultivos, permitiendo abarcar mucha más área. Cada punto se registró usando un Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El cultivo de café se dividió en dos variedades (sol y sombra); se puede observar en el estado que estas variedades son cultivadas en condiciones ambientales muy distintas. En total se obtuvieron 430 puntos de muestreo.

### 2.3.2 Datos ambientales

Los datos ambientales fueron: temperatura anual promedio, precipitación total anual promedio, precipitación promedio de los meses secos, Índice Ombrotérmico, pendiente y orientación (Suárez y Chacón-Moreno, 2013; Chacón-Moreno y Suárez, 2020). Los puntos de recolección previa, en campo, fueron llevados a los mapas bioclimáticos de Venezuela en un sistema de información geográfica (SIG), y de cada mapa se extrajo el valor de cada una de las variables ambientales; todos estos valores fueron llevados a la base de datos.

### 2.3.3 Formulación del modelo predictor

Utilizando los datos de presencia y ausencia de los principales cultivos a lo largo del recorrido por el estado Mérida, se elaboraron regresiones múltiples de distribución gaussiana, con relación a las variables ambientales, de manera de determinar la ecuación (modelo predictor) de distribución de los cultivos, utilizando la metodología descrita en Chacón-Moreno (2007). El modelo predictor, usando regresiones gaussianas, tiene como base la respuesta más natural de las especies a lo largo de gradientes (Jongman *et al.*, 1995). La ecuación 1, presenta el modelo predictor para datos de presencia/ausencia utilizando una variable a manera de ejemplo (pueden ser múltiples variables).

$$y = \frac{ae^{-0.5\left[\frac{(x-\mu)^2}{t^2}\right]}}{1+ae^{-0.5\left[\frac{(x-\mu)^2}{t^2}\right]}} \quad \text{Ec. 1}$$

En esta ecuación, el valor  $y$  es la probabilidad de la especie estimado por el modelo,  $x$  es el valor de la variable ambiental,  $\mu$  es el óptimo del cultivo,  $t$  es la tolerancia y  $a$  es un coeficiente relacionado con el tope máximo de la curva o modelo. Las definiciones ecológicas de estos parámetros son descritas en Ter Braak y Prentice (1988) y Ter Braak y Looman (1995). Para construir el modelo, se le

adicionaron las seis variables ambientales a la ecuación 1 de distribución de los cultivos.

Los datos de Presencia-Ausencia de los principales cultivos y las variables ambientales para cada punto registrado, fueron utilizados para calibrar el modelo y generar los gráficos de distribución de los cultivos, utilizando la ecuación 1. Para la calibración del modelo se utilizó el 85% de los datos recolectados (366 puntos) y el 15% restante fue usado para probar la eficacia del modelo (Evaluación).

## 2.4 Distribución espacial de cultivos

### 2.4.1 Mapas de distribución potencial espacial

Partiendo del modelo predictor gaussiano, y utilizando los mapas bioclimáticos de Venezuela tomados de Suarez y Chacón-Moreno (2013) y Chacón-Moreno y Suárez (2020), se procedió a construir mapas predictores de la distribución potencial espacial de los principales cultivos, utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG) *ILWIS* 3.0 de formato de análisis de datos con base en mapas ráster (Nijmeijer *et al.*, 2001). La data espacial bioclimática fue seleccionada para el estado Mérida con una escala de 90 m por pixel. La ecuación 1 fue ingresada en el SIG para cada uno de los cultivos en estudio, en donde se sustituyó cada variable por el nombre del mapa bioclimático correspondientes y para sustituir los valores óptimos de  $\mu$ , coeficientes de  $b$  y  $a$  obtenidos. No se tomaron en cuenta los valores en los cuales el modelo predictor arrojó nulidad.

Los resultados son imágenes que muestran la distribución potencial de los seis cultivos (papa, zanahoria, café de sombra y de sol, cacao y plátano) para el estado Mérida, en donde cada píxel contiene un valor de probabilidad de aparición. A partir de estos mapas se calculó el porcentaje de área potencial ocupada por cada cultivo con relación a la superficie del estado Mérida.

### 2.4.2 Evaluación de los modelos

Se utilizó el 15% de los datos registrados en campo, que fueron 64 puntos recolectados. Se crearon matrices de errores para cada cultivo, las cuales se analizaron estadísticamente para evaluar la precisión de los modelos utilizando el porcentaje de error y Coeficiente de Kappa (Congalton, 1991; Congalton *et al.*, 1983; Janssen y van der Wel, 1994).

### 2.5 Distribución de cultivos en escenarios de cambio climático

Para esta fase, se utilizaron los mapas generados por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2013) de las proyecciones de cambio climático para los Andes venezolanos. Las proyecciones son presentadas en función del cambio relativo (%) de precipitación. Se consideran tres escenarios de cambio que promedian un período de veinte años cada uno: a corto plazo (2026-2045), mediano plazo (2056-2075) y a largo plazo (2091-2110), centrados en los años 2035, 2065 y 2100, con relación con un período de referencia de 1986-2005. En estos modelos, los valores de cambio en la precipitación para cada escenario de RCP sustituyen a los valores de temperatura en los modelos de distribución espacial.

## 3. Resultados

### 3.1 Modelos potenciales de distribución de cultivos

En la **TABLA 1** se presentan los valores obtenidos para los coeficientes de las ecuaciones de regresión, los valores óptimos para cada uno de los parámetros del predictor y los valores de significancia estadística para todos y cada una de las variables. Es de notar que para los cultivos de plátano y café de sombra el modelo predictor no arrojó valores óptimos, en las variables de meses secos para café de sombra y pendiente para plátano. En cuanto a la significancia estadística, en la mayoría de las variables ambientales para cada cultivo fue significativa ( $P < 0,0001$ ). Con excepción de la zanahoria, la temperatura óptima de crecimiento fue de  $P < 0,05$  y en el cultivo de café de sol, el valor de exposición al sol no es significativo.

En la **TABLA 1**, el óptimo de temperatura media en los cultivos de papa y zanahoria se encuentra con temperaturas por debajo de los  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , es decir temperaturas bajas y con temperaturas intermedias ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); para los cultivos de café tanto en la sombra como a sol directo y temperaturas altas ( $>25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) son óptimas para cultivos como cacao y plátano. Para la variable de precipitación, la papa y la zanahoria tienen un óptimo de crecimiento

**TABLA 1.** Valores óptimos derivados de las regresiones de tipo gaussiana y significancia estadística (SE) para cada uno de los principales cultivos en el estado Mérida: \*\*\*  $P < 0,0001$ ; \*\*  $P < 0,05$

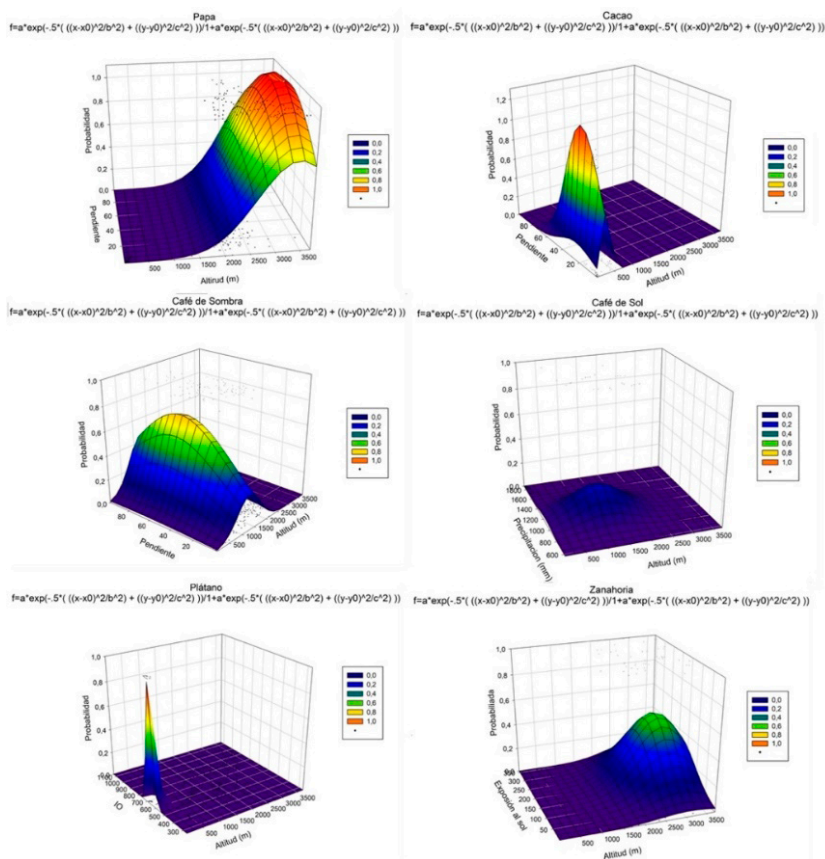
Cultivos	Variables																		
	Temperatura Media				Precipitación			Pendiente			Exposición al Sol			Meses Secos			IO		
	a	x0	SE	b	y0	SE	c	w0	SE	d	t0	SE	e	u0	SE	f	v0	SE	h
Papa	0,40	8,67	***	4,29	767,00	***	257,00	47,00	***	49,00	195,74	***	255,11	36,04	***	35,26	1.003,65	***	225,87
Zanahoria	0,30	8,00	**	5,00	849,60	***	83,91	28,00	***	20,00	199,68	***	86,86	46,39	***	39,69	818,00	***	96,00
Café sombra	0,60	19,87	***	2,31	1.393,83	***	275,61	54,26	***	38,50	155,00	***	171,00	NS	NS	NS	609,20	***	96,45
Café de Sol	1,00	20,18	***	3,26	1.138,89	***	189,38	54,00	***	21,00	744,56	***	513,01	88,00	***	23,00	540,50	***	105,19
Cacao	0,70	25,00	***	0,12	1.616,24	***	140,56	25,62	***	19,80	123,50	***	19,08	165,37	***	189,28	654,00	***	19,00
Plátano	0,60	27,08	***	0,63	1.786,00	***	82,00	NS	NS	NS	214,00	***	146,00	190,58	***	20,69	661,69	***	26,43

con precipitaciones bajas, en comparación con el cultivo de café que tiene precipitaciones intermedias y para el cultivo de cacao y plátano es necesario una alta precipitaciones para su desarrollo. En esta **TABLA 1**, resalta también la exposición al sol, donde los cultivos de café de sombra y cacao tienen valores favorables con una baja exposición al sol (<150) a diferencia del cultivo de café de sol con valores altos.

En la **FIGURA 2** se representan los gráficos obtenidos a partir de las regresiones múltiples, para los dos factores ambientales más significativos y

probabilidad de cobertura para cada cultivo dentro del estado Mérida. Todos los modelos muestran una respuesta gaussiana. El cultivo de papa presenta una distribución por encima de los 2.000 m de altitud, con un óptimo en su distribución en los 3.400 m. Por otra parte, la pendiente favorable se encuentra en torno al 47° de inclinación, es decir, pendientes intermedias. En el caso del cacao la probabilidad de encontrar está por debajo de los 500 m hasta llegar al nivel del mar, con pendientes suaves favorables para su cobertura (óptimas de 25°). El cultivo de café sembrado bajo la sombra

**FIGURA 2.** Probabilidad de cobertura de cultivos en función de las dos principales variables de cada cultivo en el estado Mérida. La altitud es utilizada por razones logística en vez de temperatura. La nube de puntos son los valores reales usados para calibrar el modelo. Cultivo de papa  $R^2=0,7388$ ;  $P<0,0001$ . Cultivo de cacao  $R^2=0,6307$ ;  $P<0,0001$ . Cultivo de café sembrado bajo la sombra  $R^2=0,5497$ ;  $P<0,0001$ . Cultivo de café de sol  $R^2=0,2760$ ;  $P<0,0001$ . Cultivo de plátano  $R^2=0,8702$ ;  $P<0,0001$ . Cultivo de zanahoria  $R^2=0,4502$ ;  $P<0,0001$





se distribuye por encima de los 500 m y por debajo de los 2.000 m y con un óptimo de 1.276 m, y pendientes intermedias a altas. En el caso del cultivo de café de sol, los valores de altitud son parecidos a los encontrados en el cultivo de café de sombra, pero su óptimo de crecimiento está alrededor de los 1.300 m y los valores de precipitación son amplios y prominentes.

El cultivo de plátano está en función principalmente de la altitud e índice ombrotérmico (IO), donde la distribución es muy cercana al nivel del mar (<500 m) y su óptimo de cobertura en relación a su altitud es de 82 m. La zanahoria muestra importante influencia de la altitud y exposición al sol, con su rango de crecimiento por encima de los 1.500 m de altitud y con posibilidades de superar los 3.500 m, pero con un óptimo de cobertura a los 3.050 m y con alta incidencias de radiación solar.

Con relación a la evaluación de los modelos, en la TABLA 2 se observan los resultados de las matrices de error y valores de exactitud de los modelos para cada cultivo. Todos los valores de precisión de los modelos están por encima de 67%, eso quiere decir que existe alta probabilidad de precisión en el modelo. La precisión total para cada cultivo estuvo por encima de los 69% y el valor de Kappa fue de 63% solo para el cultivo de cacao y 50% para el cultivo de plátano, para los cultivos de papa 14% y café de sombra del 31%.

### 3.2 Distribución potencial espacial de cultivos

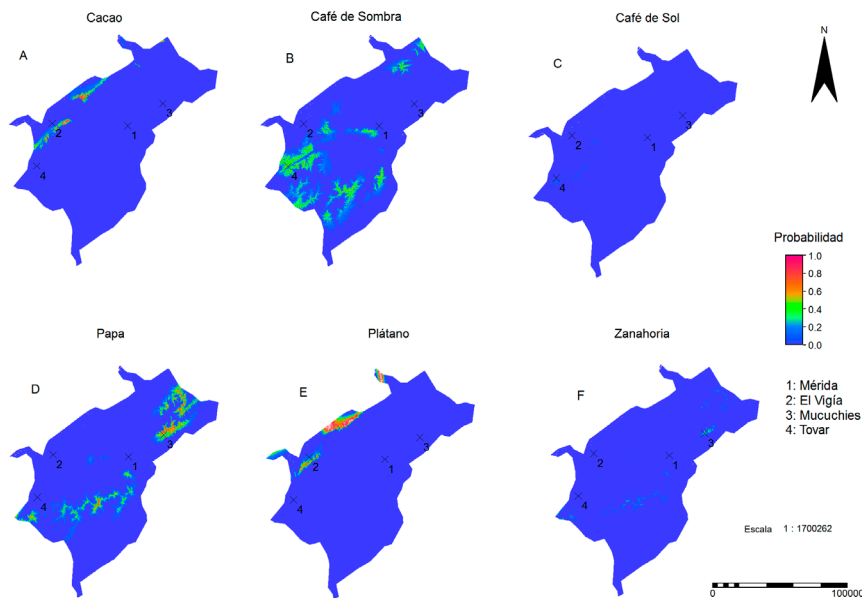
En la FIGURA 3 se presentan los modelos de distribución potencial de los cultivos para el área de estudio de acuerdo a las condiciones climáticas actuales: a) cacao; b) café de sombra; c) café de sol; d) papa; e) plátano, y f) zanahoria.

El cultivo de cacao (FIGURA 3A), muestra un área potencial bien delimitada hacia el suroeste del estado, cerca de la ciudad de El Vigía y encontrándose en la zona agrícola llamada Sur del Lago de Maracaibo. Este cultivo tiene un área potencial de 3,62% respecto a la superficie del estado Mérida. El modelo de distribución potencial para el cultivo de café de sombra muestra que este cultivo tiene una más amplia distribución a lo largo del estado Mérida; es posible que las zonas idóneas se ubiquen al sur y suroeste del estado, en específico hacia la zona agrícola del Valle del Mocotíes, Pueblos del Sur, La Azulita y muy cercanos a la capital del estado. Este cultivo tiene un alto porcentaje de área potencial (20,33%). El modelo potencial de la distribución del cultivo de café de sol, presenta una probabilidad baja de aparición y aéreas de menor extensión idóneas dentro del estado, ubicándose al suroeste muy cercanos al poblado de Tovar, en específico en el Valle del Mocotíes con un bajo potencial de 0,27%.

TABLA 2. Síntesis de evaluación a través de la matriz de error

Cultivos	Precisión Real		Precisión Total	Precisión del Modelo		Valor de Kappa
	Presencia	Ausencia		Presencia	Ausencia	
Papa	33%	90%	88%	14%	96%	0,14
Zanahoria	100%	94%	94%	0%	100%	0,00
Café sombra	41%	89%	69%	73%	67%	0,31
Café de Sol	100%	94%	94%	0%	100%	0,00
Cacao	80%	95%	94%	57%	98%	0,63
Plátano	67%	89%	86%	50%	77%	0,50

**FIGURA 3.** Modelos potenciales de la distribución espacial actual de los cultivos de (A) cacao, (B) café de sombra, (C) café de sol, (D) papa, (E) plátano y (F) zanahoria para el estado Mérida, Venezuela



En la **FIGURA 3D** se modela la distribución potencial de los cultivos de papa en el estado, encontrando una alta distribución hacia el norte y sur, en específico hacia la zona de páramo, es el segundo cultivo con mayor área potencial (13,37%) y con una probabilidad de aparición cercana a 1. El cultivo de plátano, su área de distribución se ubica hacia la zona agrícola denominada Sur del Lago de Maracaibo, y con área potencial del 4,20% dentro del estado. El cultivo de zanahoria, tiene sus áreas potenciales de distribución muy cercano a la población de Mucuchies, es decir a la zona agrícola de páramo, con un área potencial del 1,58 respecto a la superficie del estado Mérida.

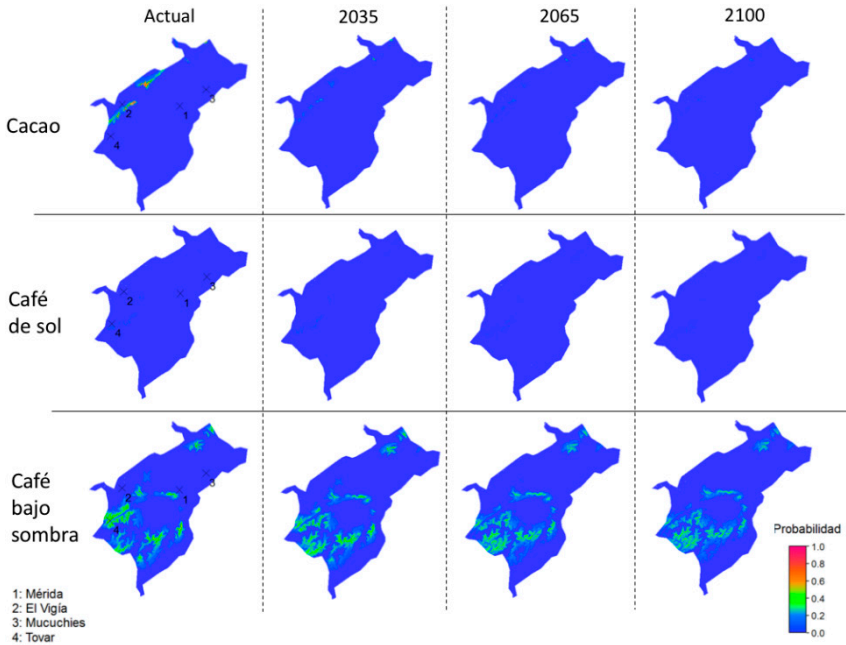
### 3.3 Distribución potencial de cultivos en escenarios de cambio climático

En la **FIGURA 4** se presenta la distribución potencial de los cultivos de cacao, café de sol y café bajo sombra en el escenario 4.5 de Trayectoria de Concentración Representativa (RCP), propuesta

por el AR5 del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2013), con incrementos en precipitación, y centrado en tres años de comparación, para el estado Mérida, Venezuela. Solo se presentan las figuras para el escenario en el cual es más probable su ocurrencia según el Artículo 2, del Convenio Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2013; Naciones Unidas, 2015). En el caso del cultivo de cacao, es posible una pérdida del 63,8% del área idónea actual de este cultivo para el 2035.

Para el cultivo de café sembrado bajo el sol, en escenarios de cambio climático ante la disminución de las precipitaciones para el 2035, se pierde el 97% del área total idónea actual, pero se observa nuevas áreas potenciales (26.171.100 ha); en el caso del café sembrado bajo el dosel o sombra, se observa este tipo de pérdidas y adición de nuevas áreas potenciales.

**FIGURA 4.** Distribución potencial de los cultivos de cacao, café de sol y café bajo sombra en el escenario 4.5 de Trayectoria de Concentración Representativas (RCP) propuesta por el AR5 del IPCC (2013) con incrementos en precipitación, y centrado en tres años de comparación, para el estado Mérida, Venezuela



En la FIGURA 5 se detalla el área potencial del cultivo de papa, que en escenarios de cambio climático es posible una pérdida del 69% del área potencial; estos mismos porcentajes se observan en el cultivo de zanahoria. En referencia al cultivo de plátano luego de 30 años las áreas idóneas desaparecen del estado.

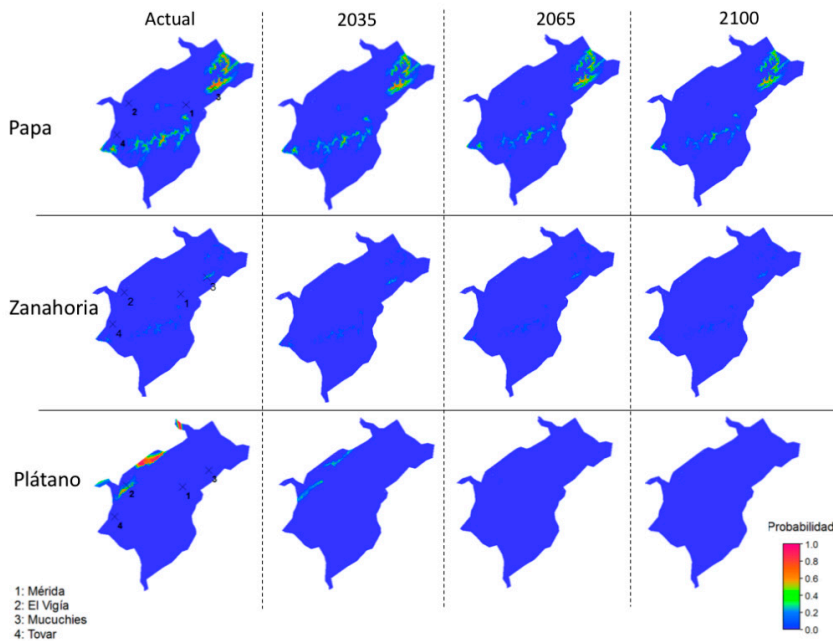
#### 4. Discusión

En el estado Mérida la amplia heterogeneidad ambiental juega un papel importante en la distribución de los cultivos en estudio, el cual incluye un amplio gradiente altitudinal junto con un extenso rango climático. La altitud representa un papel determinante en la distribución de los cultivos estudiados, los cuales están asociadas y repartidos en diferentes lugares del gradiente altitudinal, que va desde el nivel del mar hasta por encima de los 3.500 m correspondiendo con Benacchio

(1982). En las zonas de baja altitud predominan cultivos de plátano, cacao y café, mientras que los cultivos de papa y zanahoria se pueden ubicar hacia los valles altos, generando cierto grado de homogeneidad espacial en algunas zonas del estado, en donde existen interacciones de tipo ecológica, socioeconómico y cultural.

La ecuación de distribución de los cultivos permitió analizar las regresiones múltiples de distribución gaussiana con relación a las variables ambientales estudiadas, estas fueron extraídas de los mapas bioclimáticos de Mérida (Chacón-Moreno y Suarez, 2020). Los autores interpolan los datos de las estaciones climáticas, y el uso de estos mapas bioclimáticos, permite el ahorro de tiempo, dinero y recurso humano. Particularmente, estos mapas están desarrollados para la región montañosa y a una escala adecuada, en donde la pérdida de detalle de la data ambiental es menor.

**FIGURA 5.** Distribución potencial de los cultivos de papa, zanahoria y plátano en el escenario 4.5 de Trayectoria de Concentración Representativas (RCP) propuesta por el AR5 del IPCC (2013) con incrementos en precipitación, y centrado en tres años de comparación, para el estado Mérida, Venezuela



Los valores de precisión total fueron altos, indicando que la probabilidad de que un píxel de referencia se clasifique correctamente es mayor para cualquier cultivo. Con relación al análisis de Kappa para los cultivos estudiados, esta diferencia se debe a que los cultivos ampliamente distribuidos como papa y café poseen pocos lugares en donde no están presentes y, como indica Chacón-Moreno (2007), los modelos sobrestiman la distribución de especies. Cada uno de los cultivos en estudio en el estado Mérida responde a un modelo de distribución gaussiano, con base en las variables ambientales, esto puede significar que la incertidumbre de las variables tiende a ser simétrica con base en el valor probable, al obtener estos resultados se puede determinar los lugares que presentan vocación o adenoidea para el desarrollo de los cultivos en estudio.

Los cultivos de cacao y plátano se ubicaron hacia altitudes menores y temperaturas altas; este tipo de resultado está reportado por otros autores (Benacchio, 1982; Nava, 1997; Reyes y Capriles, 2000; Gómez y Azócar, 2002), aunque en ambos cultivos el valor máximo de altitud varía, debido a que la bibliografía toma en cuenta distintas variedades cultivadas en el país.

En el cultivo de cacao se registró un rango de temperatura muy corto de 23 a 27 °C, coincidiendo con Gómez y Azócar (2002); es de resaltar que los valores óptimos de temperatura, precipitación, pendiente y exposición al sol arrojados por el modelo están dentro del rango reportado, es decir este cultivo posee áreas que contienen las condiciones idóneas a nivel climático para su desarrollo en el estado.

La temperatura y precipitación óptima (27 °C y 1.786 mm) conseguidas para el cultivo de

plátano fueron las esperadas, ya que este rubro está adaptado a temperaturas y precipitaciones relativamente altas y uniformes. Cuando las temperaturas son bajas se puede afectar el ciclo del cultivo, a sabiendas que este tipo de cultivo no soporta la sequía, perjudicando el tamaño de la planta y el fruto (Nava, 1997). Esto puede significar que el cultivo de plátano tiene poca extensión en hectáreas para su desarrollo, pero con un alto potencial en la producción en la zona sur del lago de Maracaibo del estado Mérida.

En el caso de los cultivos de papa y zanahoria, se encuentran distribuidos en altitudes mayores, aunque el cultivo de zanahoria tiene un rango más amplio, que según el modelo puede ocupar altitudes intermedias, pero ambos rubros tienen un óptimo de temperatura por debajo de los 10 °C; en el cultivo de papa esta temperatura se encuentra dentro del rango reportado por Pumisacho (2012). Estas bajas temperaturas permiten una buena tuberización en la papa; este tipo de cultivo se suele cultivar en áreas donde las precipitaciones estén bien distribuidas durante el ciclo del cultivo o se debe contar con sistema de riego; las heladas son unos de los efectos que no permite su siembra en temporadas de sequías y a altitudes mayores (Benacchio, 1982).

El óptimo de la distribución del cultivo de papa se encuentra cercano de los 3.300 m de altitud; es posible que la distribución de este cultivo se encuentre determinada por la temperatura y la pendiente, si se considera la alta probabilidad de presencia a bajas temperaturas y pendiente superiores a 40°; este tipo de condiciones se pueden encontrar a lo largo de la zona agrícola del páramo merideño permitiendo una alta productividad. En cuanto al valor óptimo de precipitación es de 767 mm, siendo un valor bajo para este cultivo; los agricultores siembran este rubro en la temporada con mayor distribución de precipitaciones evitando la poca disponibilidad de agua en el ambiente y en

algunos casos poseen sistemas de riegos. En esta investigación no se tomó en cuenta las variables disponibilidad y accesibilidad al recurso agua, que es determinante en la tuberización de este cultivo.

En el cultivo de café, el gradiente altotérmico no se observó diferenciación entre la variedad de sombra y sol; la diferenciación entre variedades se ve reflejada en las variables de precipitación, pendiente y exposición del sol, esto quiere decir que ambas variedades tienen respuestas distintas antes estas condiciones climáticas. Es importante subrayar que Läderach *et al.* (2011) hacen exclusión al diferenciar los requerimientos climáticos para las dos variedades y toman en cuenta las condiciones climáticas solo para el rubro.

El rubro del café en el estado Mérida tiene un amplio rango altotérmico, ocupando las zonas intermedias con relación a la altitud, esto quiere decir que este cultivo tiene alta potencialidad para el desarrollo, productividad y distribución espacial, lo que se ve reflejado en el censo agrícola del Ministerio del Poder Popular para la Agricultura y Tierras (2007). Con relación a la temperatura óptima, se encontró un valor fresco (20 °C) para este cultivo; Läderach *et al.*, (2011) y Läderach *et al.* (2013) dicen que temperaturas altas aceleran la maduración del fruto, trayendo como consecuencia disminución de la calidad del grano; es probable que en el estado este cultivo bajo el dosel de otros árboles ofrezca granos de buena calidad, pero con un crecimiento del fruto muy lento.

Luego de obtener los modelos de distribución, se puede indicar que el estado Mérida posee un alto potencial climático para la distribución espacial de los cultivos de papa y café de sombra, aunque existen áreas idóneas específicas para los cultivos de cacao y plátano. Esto no indica que, a lo largo del territorio, existe heterogeneidad ambiental, indicando que existe idónea para el desarrollo y productividad del sistema agrícola. En donde los cultivos de plátano y cacao, su área de idoneidad

climática, está en la zona agrícola llamada Sur de Lago, mientras que en el caso del cultivo de café las áreas potenciales, según las condiciones climáticas idóneas, son a altitudes intermedias, ubicándose en zonas agrícolas llamadas el Valle del Mocotíes y los Pueblos del Sur. Por último, para los cultivos de papa y zanahoria, las áreas espaciales potenciales según las condiciones climáticas, se ubican por encima de los 2.000 m en zonas agrícolas del páramo. Estas áreas idóneas pueden ocupar grandes extensiones de ecosistemas naturales como: arbustales y frailejonales, bosques montanos pluviestacionales, bosques montanos pluviales y matorrales xéricos interandinos.

El determinar las áreas climáticas idóneas en la actualidad para los cultivos de plátano, cacao, café de sol, café de sombra, zanahoria y papa, permitió usar las distintas trayectorias de concentración representativa propuestas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2013) para los períodos que van del 2026 al 2045, centrado en el año 2035, el período 2056-2075 centrado en el año 2065 y el período 2091-2110 centrado en el año 2100. Ello posibilitó identificar áreas, cultivos e indicando la importancia de la modelización en escenarios de cambio climático, haciendo uso de los elementos y componentes del paisaje; este tipo de estudio ha sido reportado para Venezuela por Chacón-Moreno *et al.* (2020).

En escenarios de cambio climático, en las áreas idóneas para el cultivo de papa existe una disminución que tiende a media-alta para el 2100 en escenarios de emisión continua. Estos resultados concuerdan con los reportados por Mosquera (2018), para el mismo cultivo en Ecuador y con una disminución del área del 81% para el 2050. Es importante resaltar que este cultivo, en cualquier escenario de emisiones de gases de efecto invernadero y solo con disminución de la cantidad de precipitación, mantiene áreas idóneas, indicando

que esta variable no afecta la idoneidad climática, en comparación con otros cultivos.

Para los cultivos de cacao, en un escenario con trayectoria estricta de emisiones, se evidencia alta pérdida de las áreas potenciales, pero manteniendo una pequeña área para el 2100. Pero en un escenario de emisiones continuas para el 2100, desaparece el cultivo para el estado Mérida; estos resultados concuerdan con Arcentales (2019) en un trabajo realizado en la costa del Ecuador.

En el cultivo de café, se observa que las áreas idóneas actuales cambian; esto indica que cualquier cambio en la precipitación traerá consigo una reducción del área idónea climática actual, pero probablemente esta idoneidad climática ascienda en el gradiente altitudinal, es por ello que se observa aumento de las nuevas áreas potenciales en cualquier escenario de cambio climático. Pero cualquier cambio en las áreas idóneas, tanto de cultivos de café y papa, estas tenderán a aumentar la fragmentación y el grado de intervención de los ecosistemas naturales.

Con relación al cultivo de plátano en escenarios de cambio climático, cualquier cambio en la precipitación por efecto de cambio climático, afectaría la distribución de áreas potenciales, hasta la desaparición de las áreas actuales, lo cual es indicio de ser un cultivo sensible a cualquier cambio climático.

La información reunida sobre la distribución de los cultivos en el gradiente altotérmico, permitió crear modelos de distribución en el ámbito espacial y potencial. Estos modelos permitieron modelizar para determinar la distribución potencial de los principales cultivos bajo el efecto de variaciones en la precipitación a causa de un cambio climático. Pero es necesario desarrollar un modelo de distribución con mayor nivel de detalle y que contengan más variables no solo de tipo bioclimático, con el fin de determinar con precisión las áreas reales ocupadas por los distintos

cultivos y así conocer la superficie real disponible para los mismos, permitiendo una organización territorial y mejor aprovechamiento de las áreas.

## 5. Agradecimientos

Este trabajo fue realizado gracias al financiamiento otorgado por: Consejo de Desarrollo Científico, Humanístico y Tecnológico de la Universidad de Los Andes (CDCHT-ULA), proyecto C-1882-14-01-F, y Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e

Innovación, proyecto “Ecorregiones, Paisajes y Ecosistemas de Venezuela. Análisis de la transformación de ecosistemas por efecto del Cambio Climático, ECOMAP\_CC” (FONACIT 2011000350), Agradecimiento a Alejandra Betancourt, Martha Ramírez, Yarelis Gutiérrez y al personal del ICAE por el apoyo, comentarios y enriquecimiento de este trabajo. Durante la redacción de este artículo Eulogio Chacón-Moreno recibió una beca académica del Institute of International Education’s Scholar Rescue Fund (IIE-SRF).

## 6. Referencias citadas

- ACADEMIA DE CIENCIAS FÍSICAS, MATEMÁTICAS y NATURALES - SECRETARÍA ACADÉMICA DE CAMBIO CLIMÁTICO (ACFIMAN- SACC). 2018. *Primer Reporte Académico de Cambio Climático (PRACC): Contribución de los grupos de trabajo I, II y III al primer reporte académico de la Academia de Ciencias, Físicas, Matemáticas y Naturales*. Caracas, Venezuela.
- ANDRESSEN, R. 2007. “Circulación atmosférica y tipos de climas”. En: *Geo Venezuela. Tomo 2, Medio Físico y Recursos Ambientales*. pp. 238-325. Fundación Empresas Polar. Caracas, Venezuela.
- ARCENTALES, E. 2019. *Variación en la potencial distribución del cultivo de cacao en la región costa del Ecuador para el año 2050, debido al cambio climático*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. Trabajo Especial de Grado.
- ARUNDEL, S. 2005. “Using spatial models to establish climatic limiters of plant species distributions”. *Ecological Modelling*, 182(2): 159-181.
- ARZAC, A. 2008. *Distribución espacial de formas de vida de plantas en un gradiente altotérmico en los Andes tropicales*. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo Especial de Grado.
- ARZAC, A.; CHACÓN-MORENO, E.; LLAMBI, L. y R. DULHOSTE. 2011. “Distribución de formas de vida de plantas en el límite superior del ecotono bosque paramo en los andes tropicales”. *Ecotrópicos*, 24(1): 26-46.
- BELLARBY, J.; WATTENBACH, H; TUCK, G.; GLENDINING, M. & P. SMITH. 2010. “The potential distribution of bioenergy crops in the UK under present and future climate”. *Biomass and Bioenergy*, 34(12): 1.935-1.945.
- BENACCHIO, S. 1982. *Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivos con potencial de producción en el trópico americano*. FONAIAP- CENIAP. Maracay, Venezuela.
- CHACÓN-MORENO, E. 2007. “Plant species distribution in the Venezuelan Flooding Savanna using models of multiple spatial variables” CHAPTER 9. En: *Ecological and spatial modeling. Mapping ecosystems, landscape changes, and plant species distribution in Llanos del Orinoco, Venezuela*. pp. 150-169. International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC). Enschede, the Netherlands.
- CHACÓN-MORENO, E. y P. SUÁREZ. 2020. “Mapa bioclimático de la cordillera de Mérida”. *Ecotrópicos*, 32: 1-14

- CHACÓN-MORENO, E.; ULLOA, A.; TOVAR, W.; MÁRQUEZ, T.; SULBARÁN-ROMERO, E. y M. RODRÍGUEZ-MORALES. 2013. "Sistema de clasificación ecológico y mapas de ecosistemas: Enfoque conceptual-metodológico para Venezuela". *Ecotrópicos*, 26(1-2): 1-27.
- CHACÓN-MORENO, E.; OLIVARES, I.; NAVARRO, G.; ALBARRÁN, A.; PAREDES, Y.; ARANGUREN, C. & G. NAGY. 2020. "Landscape Ecology and Conservation for Building Resilience and Adaptation to Global Change in Venezuela". En: LEAL, W.; NAGY, G.; BORGA, M.; CHÁVEZ, P. & MAGNUSZEWSKI, A. (Eds.), *Climate Change, Hazards and Adaptation Options*. pp. 147-160. Climate Change Management. Springer.
- CONGALTON, R. 1991. "A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data". *Remote Sensing of Environment*, 37(1): 35-46.
- CONGALTON, R.; ODERWALD, R. & R. MEAD. 1983. "Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate statistical techniques". *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 49(12): 1.671-1.678.
- COTO, A.; ROJAS, C. y S. MOLINA. 2017. "Distribución potencial de tres cultivos agrícolas en Costa Rica, bajo escenarios de cambio climático: implicaciones de manejo agro-forestal y desarrollo socioeconómico". *Ingeniería*, 27(2): 1.409-2.441.
- DANIELS, L. & T. VEBLEN. 2004. "Spatiotemporal influences of climate on altitudinal treeline in northern Patagonia". *Ecology*, 85(5): 1.284-1.296.
- GÓMEZ, A. y A. AZÓCAR. 2002. "Áreas potenciales para el desarrollo del cultivo del cacao en el estado Mérida". *Agronomía Trop.*, 52(4): 403-425.
- GRAHAM, C. & R. HIJMANS. 2006. "A comparison of methods for mapping species ranges and species richness". *Global Ecology and Biogeography*, 15(6): 578-587.
- GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO. 2013. *Cambio Climático 2013 Bases físicas. Resumen para responsables de políticas*. Ginebra, Suiza.
- GUISAN, A. & N. ZIMMERMANN. 2000. "Predictive habitat distribution models in ecology". *Ecological Modelling*, 135: 147-186.
- HIJMANS, R.; CAMERON, S.; PARRA, J.; JONES, P. & A. JARVIS. 2005. "Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas". *International Journal of Climatology*, 25(15): 1.965-1.978.
- JANSSEN, L. & F. VAN DER WELL. 1994. "Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: a review". *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 60(4): 419-426.
- JONGMAN, R.; TER BRAAK, C. & O. VAN TONGEREN. 1995. *Data Analysis in Community and Landscape Ecology*. Cambridge University Press. USA.
- JOSSE, C.; CUESTA, F.; NAVARRO, G.; BARRENA, V.; CABRERA, E.; CHACÓN-MORENO, E.; FERREIRA, W.; PERALVO, M.; SAITO, J. y A. TOVAR. 2009. *Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela*. Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAvH, LTA-UNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL. Lima, Perú.
- LÄDERACH, P.; HAGGAR, J.; LAU, C.; EITZINGER, A.; OVALLE, O.; BACA, M.; JARVIS, A. y M. LUNDY. 2011. *Café mesoamericano: Desarrollo de una estrategia de adaptación al cambio climático. CIAT Políticas en Síntesis no. 2*. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia.
- LÄDERACH, P.; MARTINEZ-VALLE, A.; SCHORTH, G. & N. CASTRO. 2013. "Predicting the future climatic suitability for cocoa farming of the world's leading producer countries, Ghana and Côte d'Ivoire". *Climate Change*, 119: 841-854.



- MINISTERIO DEL AMBIENTE y DE LOS RECURSOS NATURALES. 2005. *Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones*. Caracas, Venezuela
- MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA EL ECOSOCIALISMO y AGUA. 2017. *Segunda Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. Caracas, Venezuela.
- MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA AGRICULTURA y TIERRAS (MAT). 2007. *VII Censo Agrícola*. Caracas, Venezuela.
- MOSQUERA, D. 2018. *Análisis de la distribución potencial de cultivo de papa (Solanum Tuberosum) bajo un escenario de cambio climático al año 2050 y sus potenciales conflictos con áreas del sistema nacional de áreas protegidas (SNAP), bosques protectores y otras áreas de conservación del cantón Mejía*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. Trabajo Especial de Grado.
- NACIONES UNIDAS. 2015. *Acuerdo de París*. Secretaría General de las Naciones Unidas. Nueva York, Estados Unidos
- NAVA, C. 1997. *El plátano, su cultivo en Venezuela*. Ediciones Astro Data S.A. Maracaibo, Venezuela.
- NIJMEIJER, R.; DE HAAS, A.; DOST, R. J. J. & P. E. BUDDE. 2001. *ILWIS 3.0 Academic User's Guide*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC). Enschede. The Netherlands.
- PAREDES, Y. 2014. *Distribución potencial de los principales cultivos agrícolas en escenarios de cambio climático en el estado Mérida, Venezuela*. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Trabajo Especial de Grado.
- PUMISACHO, M. 2012. *El cultivo de papa en el Ecuador*. Centro Internacional de la Papa. Quito, Ecuador.
- REYES, H. y L. CAPRILES. 2000. *El Cacao en Venezuela*. Editado por Chocolates El Rey. Caracas, Venezuela.
- SUÁREZ, P. 2009. *Modelización de la distribución de la línea de Contacto bosque-páramo en los Andes venezolanos*. Facultad de Ciencias. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. Trabajo Especial de Grado.
- SUÁREZ, P. y E. CHACÓN-MORENO. 2011. "Modelo espacial de distribución del ecotono bosque-páramo en los andes venezolanos. Ubicación potencial y escenarios de cambio climático". *Ecotrópicos*, 24(1):3-25.
- SUÁREZ, P. y E. CHACÓN-MORENO. 2013. "Mapa bioclimático de Venezuela. Informe técnico y protocolo de trabajo". ECOMAP\_CC (2011000350). Mérida, Venezuela.
- TER BRAAK, C & C. LOOMAN. 1995. "Regression". En: R. JONGMAN; C. TER BRAAK & VAN TONGEREN (Eds.), *Data analysis in community and landscape ecology*. pp. 29-77. Cambridge University Press. USA.
- TER BRAAK, C. & I. PRENTICE. 1988. "A theory of gradient analysis". *Advances in Ecological Research* 18: 271-317.
- VIVAS L. 1992. *El Cuaternario*. Consejo de publicaciones. Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela.