

COMPORTAMIENTO DEL CLIMA A FINALES DEL SIGLO XX EN LOS ALTOS ANDES VENEZOLANOS Y EL DECLIVE DE *ATELOPUS MUCUBAJIENSIS*

SULEIMA SANTIAGO-PAREDES¹ y ENRIQUE LA MARCA^{1,2}

¹ Laboratorio de Biogeografía, Escuela de Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes, Apartado postal 116, Mérida 5101-A, Venezuela.

Resumen: Llevamos a cabo un estudio climatológico de la región del Páramo de Mucubají, Andes de Venezuela, para el período 1969-1995, que corrobora que allí se presenta un régimen climático de tipo biestacional. No obstante, un análisis detallado reveló que esta norma de biestacionalidad se ha visto alterada durante algunos años en los cuales esta tendencia se desvía un poco hacia un régimen de tipo tetraestacional, o incluso no manifiesta un patrón definido. Alteraciones climáticas importantes se presentaron hacia finales del siglo XX (especialmente entre 1984 y 1995), cuando se manifestaron períodos consecutivos con valores anormalmente secos. Muchos de estos años secos muestran correspondencia con períodos de manifestación del fenómeno de El Niño, que trajo como consecuencia la intensificación de los períodos de sequía en la región andina venezolana (particularmente en las cuencas de los ríos Santo Domingo y Chama). Estos períodos secos llegaron inclusive a prolongarse por seis meses consecutivos. Estos períodos secos anormales son relacionados aquí con el declive masivo en las poblaciones de *Atelopus mucubajiensis*, lo cual apoya nuestros resultados previos con otra especie del género, *A. oxyrhynchus*, en los Andes de Venezuela. Los eventos de sequía extrema quizás favorezcan el contagio y transmisión de algunas enfermedades patógenas de los anfibios en la Cordillera de Mérida, como ha sido reportado para otras latitudes; lo cual, en sinergia con otros factores discutidos aquí, puede ser responsable del declive observado en poblaciones de ranas de la región.

Palabras clave: Amphibia, *Atelopus mucubajiensis*, cambio climático, sequías, Andes, Venezuela

Abstract: S. Santiago-Paredes and E. La Marca. "Climate behavior in the high Venezuelan Andes towards the end of the 20th century, and the decline of *Atelopus mucubajiensis*". We performed a climate study in the Páramo de Mucubají region, Venezuelan Andes, for the period 1969-1995, which corroborates the notion that a bi-seasonal climate regime is present there. However, a detailed analysis revealed that this norm of bi-seasonality has been disturbed during some years in which this tendency deviates somehow towards a tetra-seasonal type of regime, or even does not exhibit a defined pattern. Important climate alterations were exhibited towards the end of the 20th century (specially between 1984 and 1995), when abnormally dry consecutive periods were recorded. Most of these dry years show correspondence with periods of presence of the El Niño Southern Oscillation phenomenon which, as a consequence, brought the intensification of the dry periods in the Venezuelan Andean region (particularly in the Santo Domingo and Chama river basins). These dry periods even extended to six consecutive months. These abnormally dry periods are related here with the massive decline experienced in populations of *Atelopus mucubajiensis*, which supports our previous findings with another species of the genus, *A. oxyrhynchus*, in the Venezuelan Andes. The extreme dry events perhaps favoured the infection and propagation of some pathogenic diseases, as it has been reported for other latitudes, which, in synergy with other factors discussed here could be held responsible for the observed population declines in the frogs at the region.

Key words: Amphibia, *Atelopus mucubajiensis*, climate change, droughts, Andes, Venezuela

INTRODUCCION

La mayoría de las disminuciones y extinciones de las poblaciones de anfibios parece estar ocurriendo como consecuencia de varios factores, entre los que destacan el incremento de enfermedades que provocan mortalidad, las alteraciones climáticas y la intervención humana (particularmente contaminación y destrucción del hábitat).

Desde la década de los años ochenta en el siglo pasado se ha venido reportando, a nivel de Latinoamérica, un drástico declive en las poblaciones de algunas especies de ranas arlequines (género *Atelopus*). Se ha asociado algunas de estas disminuciones con la destrucción o alteración del hábitat natural de algunas de dichas especies. Sin embargo, se sabe que una porción importante de estos

eventos ha ocurrido en áreas legalmente protegidas, donde la intervención humana es muy baja o nula. Por tal motivo, esta causa ha perdido relevancia al momento de explicar la disminución de la mayoría de las especies dentro del género. Hasta ahora existen varias hipótesis que intentan explicar el fenómeno de las disminuciones. La incidencia del hongo quitridio *Batrachochytrium dendrobatidis* tiene muchos adeptos. No obstante, la del cambio climático está cobrando fuerza en los últimos años.

Algunos estudios (e.g. La Marca y Reinhaller 1991, Pounds 2001, Ron *et al.* 2003, Albornoz y García 2003, entre otros) han relacionado de una u otra forma las alteraciones o cambio climático con el declive de las ranas arlequines. Períodos muy secos, con

⁴ Enviar correspondencia a / Send correspondence to:
enrique.lamarca@gmail.com

escasas precipitaciones, ocurridos en el área de procedencia de algunas especies, han sido relacionados con el declive de sus poblaciones.

Con esta investigación nos propusimos determinar si existe o no relación entre posibles anomalías en el comportamiento de las variables climáticas precipitación y temperatura a lo largo del período 1969-1995, y la disminución de la especie *Atelopus mucubajiensis* en los Andes de Venezuela.

MATERIALES Y MÉTODOS

Análisis de datos climáticos

Este trabajo está sustentado en análisis mensuales y anuales de precipitación y temperatura, a lo largo del período 1969-1995, en la localidad tipo de *Atelopus mucubajiensis*.

Los datos climatológicos (precipitación y temperatura) para el Páramo de Mucubají se obtuvieron de tres estaciones de la Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente en Venezuela: "Mucubají" (Serial 3072; 3550 m.s.n.m.; 08°48'10", 70°49'22"), "Páramo Pico El Águila" (Serial 3112; 08°51'00", 70°49'37"; 4126 m.s.n.m.) y "Los Plantíos" (Serial 3161; 08°49'11", 70°47'05"; 3050 m.s.n.m). Para propósitos de este trabajo se presenta en detalles los pluviogramas de la primera estación, y en el texto se discute la variación entre todas las estaciones.

La representación de la precipitación sigue el formato de pluviogramas estándar, con la finalidad de visualizar la ocurrencia o no de meses secos y húmedos a lo largo del año. La variabilidad en la temperatura no pudo ser estudiada en detalle debido a la carencia de datos. Se realizaron análisis y gráficos de precipitación anual y mensual para cada una de las estaciones y años seleccionados para el estudio. De igual manera, se realizaron gráficos de precipitación media, máxima y mínima mensual, y de precipitación anual con la finalidad de observar detenidamente si se presentan variaciones significativas en el comportamiento de la precipitación. En los contados casos en los cuales hubo datos faltantes, se procedió a completarlos con datos desenglobados o estimados (para Mucubají, casi siempre éstos coincidieron con los de las otras estaciones, como, por ejemplo, algunos meses en los años 1969, 1984, 1985, 1989 y 1994).

Adicionalmente, realizamos análisis bimestrales, trimestrales y cuatrimestrales de los meses consecutivos más secos y húmedos del año, y determinamos los años más secos y más húmedos. Aplicamos el método de los promedios móviles para evaluar la tendencia en el comportamiento de la precipitación anual durante cada período analizado. Finalmente, aplicamos el coeficiente de variación como medida estadística de dispersión de los datos de cada una de las estaciones consideradas, a fin de determinar el grado de variabilidad entre los registros de las estaciones.

Para la determinación de meses secos y húmedos ocurridos en cada estación durante los períodos analizados, tomamos el siguiente criterio. Meses secos, aquellos que registraron precipitaciones (Pp) mensuales inferiores a 45 mm (1.5 mm/día); por tratarse de una zona de clima frío con precipitaciones bajas. Adicionalmente, calculamos la precipitación media mensual, la

desviación estándar y el coeficiente de variación para cada serie de datos, con la finalidad de determinar los meses y años más secos o húmedos, de acuerdo con el siguiente criterio:

Meses o años muy secos: $Pp \text{ mensual} < Pp \text{ media anual} - \text{desviación estándar}$.

Meses o años muy húmedos: $Pp \text{ Mensual} > Pp \text{ Media} + \text{desviación estándar}$.

Regímenes pluviométricos

Los regímenes pluviotérmicos están dados por la estacionalidad hídrica y térmica derivada de la distribución de las precipitaciones y la temperatura a lo largo del año, lo cual delimita unidades ecoclimáticas (Sarmiento 1986a). En los Andes tropicales se han reconocido ocho regímenes pluviotérmicos clasificados dentro de dos grandes divisiones: los regímenes "biestacionales" (aquellos en los cuales se alterna una estación lluviosa con otra menos lluviosa que en general llega a ser ecológicamente seca y que perdura por dos o tres meses al año) y los regímenes "tetraestacionales" (aquellos en los que alternan a lo largo del año dos períodos lluviosos y dos secos delimitando así cuatro estaciones hídricas sucesivas). En los Andes de Venezuela se localizan dos de estos regímenes, el "biestacional del Norte" y el "tetraestacional del Norte" (cf. Sarmiento 1986a) equivalentes, respectivamente, a lo que Monasterio y Reyes (1980) denominaron "régimen unimodal" y "régimen bimodal". Para evitar confusiones derivadas de implicaciones estadísticas con el uso de estos últimos términos, preferimos emplear los términos de "régimen biestacional" y "régimen tetraestacional". Localmente también podríamos identificarlos como "patrón llanero" y "patrón lacustre" (cf. Monasterio y Reyes 1980), respectivamente.

El régimen biestacional del Norte es aquel en el cual la estación seca se corresponde con los meses de invierno del hemisferio Norte (entre diciembre y marzo); está localizado en zonas isotérmicas (con amplitudes térmicas medias anuales inferiores a 3°C) en la vertiente oriental de los Andes venezolanos y de la Cordillera Oriental colombiana (Sarmiento 1986a). El régimen tetraestacional del Norte, por otra parte, es aquel en el cual la estación más seca del año acaece durante el invierno boreal (diciembre a marzo) y la menos seca en el verano del hemisferio norte (Sarmiento 1986a, García *et al.* 2007); se le encuentra distribuido en la vertiente noroccidental de los Andes venezolanos y estaciones septentrionales de los Andes colombianos (Sarmiento 1986a).

Área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en el Páramo de Mucubají, una región con una extensión de 135 Km², que se encuentra localizada en los Andes venezolanos al noreste del Estado Mérida (dentro de los Municipios Cardenal Quintero y Rangel), en la Sierra de Santo Domingo (Fig. 1). Geográficamente, este páramo se ubica entre los 8°45'35.2" y 8°52'36" de Latitud Norte y los 70°49'51.9" y 70°41'35.6" de Longitud Oeste. Las elevaciones están comprendidas entre los 2260 (cercañas de la quebrada Los Chorros) y los 4672 m.s.n.m. (Pico Mucuñuque).

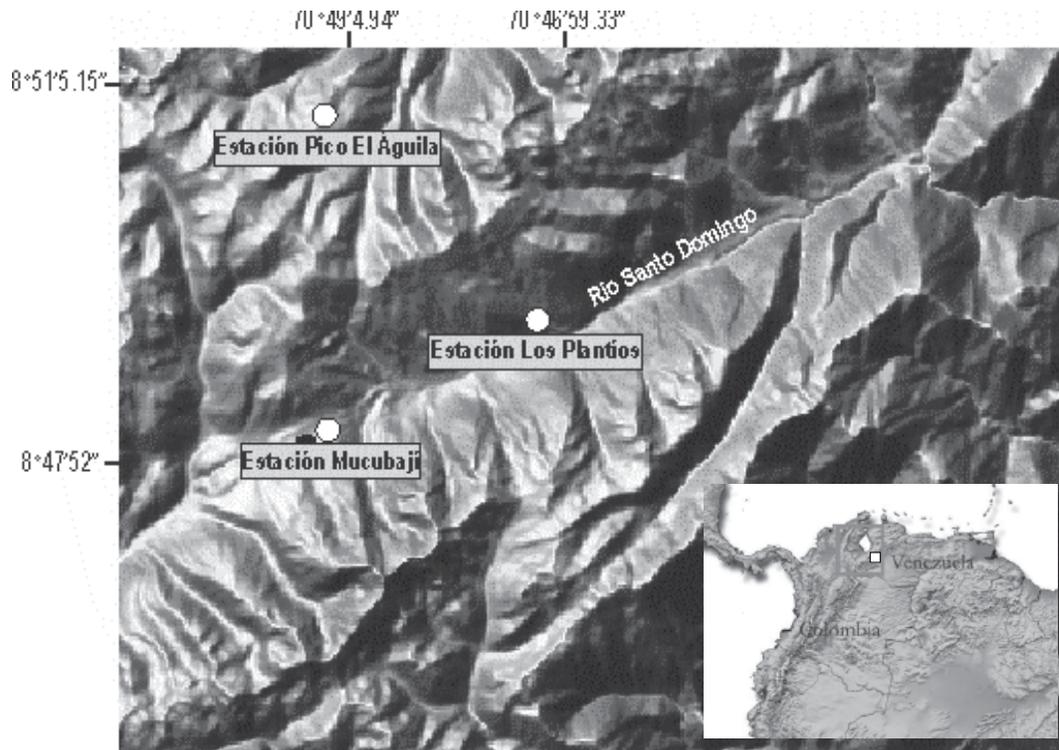


FIG. 1. Región de Mucubají y estaciones climáticas. Recuadro inferior muestra ubicación relativa del área de estudio, indicada por cuadrado blanco. *Mucubají region and climate stations. Lower insert shows relative position of study area, indicated by white square.*

Azocar y Monasterio (1980) realizaron el análisis más completo conocido sobre el clima de la región del páramo de Mucubají, donde determinaron que allí se presenta un régimen térmico diario con una amplia diferencia entre las temperaturas del día y la noche, lo que incide en la aparición de un importante número de días con heladas. Estas últimas son más importantes durante los meses más secos de diciembre a marzo, cuando ocurren las temperaturas mínimas más bajas, aunque pueden sucederse cualquier día del año en que la temperatura descienda por debajo de los 0 °C. Septiembre es el único mes donde no detectaron heladas. De acuerdo con Azocar y Monasterio (1980), la marcha anual de la temperatura media varía muy poco (unos 1.2 °C) entre el mes más frío (diciembre, 4.7 °C) y el mes más cálido (junio, 5.9 °C), con una media de 5.4 °C para el período 1967-1975.

Azocar y Monasterio (1980) determinaron que la precipitación promedio anual para el páramo de Mucubají era de 968.8 mm para el período 1967-1976 y que el régimen de precipitaciones presentaba dos estaciones contrastantes (una relativamente seca de diciembre a marzo y con precipitaciones menores a 30 mm, y una húmeda de abril a octubre —con 95 mm).

La vegetación existente en Mucubají es heterogénea, de porte bajo, dominada localmente por arbustos leñosos, plantas herbáceas y plantas en rosetas y cojines. Algunos lugares en las cercanías de las Lagunas Mucubají y La Victoria han sido plantados con especies exóticas de coníferas de los géneros *Pinus* y *Cupresus*.

Las especies de anfibios que han sido reportadas (La Marca 1994, 2005a) para el área de estudio son: *Atelopus mucubajiensis* Rivero, 1974; *Aromobates leopardalis* (Rivero, 1978);

Eleutherodactylus ginesi (Rivero, 1964); *Eleutherodactylus kareliae* La Marca, 2005; *Eleutherodactylus lancinii* (Donoso-Barros, 1965); *Eleutherodactylus paramerus* Rivero, 1984; *Dendropsophus meridensis* (Rivero, 1961) y *Centrolene venezuelense* (Rivero, 1968).

Especie de estudio

Para los fines de esta investigación revisamos ejemplares y datos de museo de *Atelopus mucubajiensis* (Fig. 2), para la cual se cuenta con el mayor número de registros en la región y la cual, además, ha sido reportada como especie amenazada (La Marca y Reinthaler 1991, Rodríguez y Rojas-Suárez 2003, La Marca y Lötters 1997, IUCN *et al.* 2004, La Marca *et al.* 2005, entre otros).

RESULTADOS

El estudio del comportamiento de la precipitación durante el período 1969-1995 en las tres estaciones climáticas ubicadas en la región del páramo de Mucubají (Mucubají, Los Plantíos y Pico El Águila), reveló ciertos patrones e irregularidades.

Generalidades pluviométricas de las estaciones estudiadas

En términos generales, el patrón de la precipitación en la estación Mucubají se manifiesta de tipo biestacional, como lo determinaron Azocar y Monasterio (1980), aún cuando posee un comportamiento irregular durante algunos años, como lo comprobamos en esta investigación. Para Mucubají, los años típicamente biestacionales fueron 1970-1971, 1973, 1975, 1977, 1980, 1984-1985, 1988, 1991 y 1993. Las estaciones Los Plantíos y Pico El Águila presentaron igualmente el patrón biestacional, coincidente con la mayoría de estos

años. En la estación Mucubají, el período de sequía generalmente se inicia en el mes de diciembre, aunque en algunos casos puede comenzar tempranamente en noviembre, tardíamente en enero o, de manera excepcional (como en 1982 y 1993), puede comenzar en el mes de octubre. El período de sequía se extiende, durante gran parte de los años analizados, hasta el mes de marzo; en algunos años sólo alcanza hasta febrero (como en los años 1976, 1990 y 1994) y no es raro que incluso alcance hasta el mes de abril (como en 1970, 1975, 1977, 1984, 1987 y 1989 (Tabla 1). Generalmente los meses de enero, febrero y marzo se comportan como meses secos, a excepción de 1972, en el cual el período de sequía fue interrumpido por un mes húmedo (enero), y durante los años 1972, 1976, 1990, 1991 y 1994, cuando el período de sequía se interrumpió en el mes de marzo, continuando posteriormente en abril. Noviembre es un mes transicional entre el período húmedo y el período seco, aún cuando en algunos casos se comporta netamente como un mes seco. Gran parte de los años registran a diciembre como un mes seco, a excepción de los años 1970, 1975, 1979, 1990 (Tabla 1).

La estación Los Plantíos también registra períodos secos que en algunos casos se inician en noviembre, diciembre o enero e incluso en octubre, tal es el caso de los años 1971 y 1982. Al igual que en Mucubají, en esta estación los meses de enero, febrero y marzo se presentan como meses secos, con la excepción de enero 1972, febrero 1981 y marzo 1972, 1976 y 1990. Los meses de abril y noviembre son transicionales entre meses secos y húmedos.

La estación Pico El Águila registra un comportamiento de la precipitación similar al de las otras estaciones en la región de Mucubají, caracterizado por la aparición de un período seco que habitualmente se inicia en el mes de diciembre y abarca hasta el mes de febrero o marzo y en casos excepcionales se extiende hasta abril. Noviembre se comporta como un mes de transición entre los dos períodos.

Irregularidades en el patrón de precipitación

Aun cuando un pluviograma síntesis para períodos largos puede



FIG. 2. *Atelopus mucubajiensis*. Especie de estudio endémica de la región de Mucubají, Andes de Venezuela.

Atelopus mucubajiensis. Study species endemic to the Mucubají region, Venezuelan Andes.

denotar la región de Mucubají como de régimen biestacional, algunos años se comportan de manera anómala. La variabilidad que ocurre en años particulares para las estaciones estudiadas se puede clasificar de acuerdo con la tendencia hacia patrones hídricos (o regímenes estacionales; véase Materiales y Métodos para su descripción general). De esta manera, detectamos los patrones biestacional y tetraestacional, así como años con anomalías de precipitación, que a continuación detallamos.

1. Patrón con tendencia biestacional

Las estaciones de Mucubají, Los Plantíos y Pico El Águila tuvieron un patrón de precipitaciones tendientes hacia el tipo biestacional durante los años 1976, 1982, 1983, 1989, 1990, 1992, 1993 y 1995. En términos generales, durante estos años los meses de diciembre, enero y febrero fueron siempre secos. Ocasionalmente (1982, 1983, 1989, 1992, 1993, 1995) el período seco se extendió hasta marzo y, excepcionalmente (1989), hasta el mes de abril. En todos estos años el mes más seco fue siempre diciembre, con excepción de enero de 1982. En ocasiones, las tres estaciones estudiadas registraron comportamientos pluviométricos diferentes. Por ejemplo, en 1982 la estación Pico El Águila registró solamente dos meses secos (enero y diciembre), mientras que Mucubají y Los Plantíos tuvieron seis (enero, febrero, marzo, octubre, noviembre y diciembre).

Los años con tendencia biestacional más secos (entre 741.4 y 768 mm de precipitación total anual), con seis meses secos en total, fueron 1982, 1989 y 1992. De éstos, 1989 y 1992 experimentaron un inusual aumento de precipitaciones dentro del período seco comprendido entre diciembre del año anterior y abril del año en estudio. La estación Pico El Águila presentó durante 1992 un comportamiento semejante al de Mucubají, diferenciándose en el destacado ascenso de la precipitación durante el mes de noviembre. 1993 se inició con un período seco que perduró durante los tres primeros meses del año, en los que enero y febrero registraron precipitaciones casi nulas.

Durante 1989 destaca particularmente el comportamiento anormal de las lluvias ocurrido durante el mes de abril en todas las estaciones, las cuales registraron muy bajas precipitaciones (6.4-9.2 mm) en comparación con otros años, en los cuales este mes da inicio al período húmedo con un incremento considerable de la precipitación. 1995 fue un año completamente inusual en cuanto a que los tres primeros meses del año estuvieron totalmente desprovistos de lluvias. El período húmedo de este año se extendió desde junio hasta octubre, concentrando aproximadamente el 80% del total de precipitaciones caídas durante 1995, siendo agosto el mes más húmedo del año. La precipitación anual registrada fue de 693.3 mm, siendo éste el valor más bajo registrado durante el período 1969-1995. Durante ese año, la estación Pico El Águila registró un ascenso significativo de la precipitación durante el mes de marzo.

Los años con tendencia biestacional más húmedos (entre 969.3 y 1061.5 mm) fueron 1976, 1990 y 1994. El mes más húmedo de nuestra serie de años ocurrió en junio de 1976. Durante este año, dos meses (junio y julio) concentraron casi el 50% del total de las precipitaciones. Generalmente, el punto máximo de lluvias en los años con tendencia biestacional se presenta en junio (como en los

años 1976, 1990, 1992, 1994, 1995), aunque puede ocurrir más tempranamente (e.g. en mayo de los años 1982, 1983, 1989). A partir de agosto se presenta un descenso significativo de la precipitación hasta alcanzar su punto mínimo en diciembre.

En Mucubají, el período húmedo en 1993 registró ascensos considerables en los meses de abril y junio, siendo este último el mes más húmedo del año. No obstante, para ese mismo año, la estación Pico El Águila presentó un menor grado de fluctuación entre los valores, evidenciando más claramente una tendencia hacia el patrón biestacional.

2. Patrón con tendencia tetraestacional

Las estaciones de Mucubají, Los Plantíos y Pico El Águila tuvieron un patrón de precipitaciones de tipo tetraestacional durante los años 1969, 1979 y 1981 (Fig. 3). Éste contempla un período de escasas precipitaciones que generalmente tiene sus inicios en el mes de diciembre del año que le precede y se prolonga durante el primer trimestre del año. Hay dos picos máximos de precipitación, uno cada cual, en los meses de abril y octubre. Durante 1969 se mantuvo un período de precipitaciones intermedias de mayo a septiembre. Este período de precipitaciones relativamente más bajas tuvo la menor

TABLA 1. Precipitación mensual registrada en la Estación Mucubají para el período 1969-1995. Los meses secos se indican sombreados, los valores desenglobados en negritas y los valores estimados, subrayados.

TABLE 1. Monthly precipitation registered at Mucubají climate station for the period 1969-1995. Dry months are shaded, disenglobed values in bold face and estimated values, underlined.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1969	8.9	19.7	9.3	193.3	90.0	99.6	93.1	111.0	93.3	182.9	104.3	14.7	1020.1
1970	35.5	23.5	12.7	39.6	91.3	177.3	148.0	217.0	159.9	79.8	35.2	48.9	1068.7
1971	43.4	22.5	29.3	67.4	116.0	112.4	100.2	154.6	94.4	45.9	55.4	27.1	869.6
1972	56.4	18.4	45.3	238.0	105.7	148.9	160.6	114.2	83.7	101.9	37.6	7.1	1117.8
1973	6.5	1.5	29.4	53.9	73.7	111.6	134.4	124.6	129.0	102.6	99.0	11.2	877.4
1974	18.1	15.9	32.5	77.7	122.2	71.2	97.8	75.1	108.0	81.0	46.6	0.5	746.6
1975	1.7	14.0	32.6	41.0	163.8	133.1	93.6	98.5	101.6	95.4	37.1	61.7	847.1
1976	9.1	13.3	53.3	88.3	70.4	266.1	214.1	98.8	76.6	70.3	53.6	4.0	1011.9
1977	7.6	1.1	27.5	37.3	151.3	178.8	155.4	113.4	96.5	61.8	58.9	3.3	892.9
1978	8.4	9.1	39.9	168.9	91.0	218.0	120.9	133.4	118.2	74.2	14.4	34.6	1031.0
1979	0.0	1.2	37.5	97.8	125.2	190.6	175.1	111.6	68.4	157.3	56.2	47.6	1068.5
1980	2.4	7.0	12.0	81.4	151.1	147.3	170.2	141.2	139.6	95.3	78.4	6.3	1032.2
1981	0.0	43.2	13.0	161.3	191.0	154.7	88.7	157.9	117.0	88.2	41.2	24.7	1080.9
1982	3.4	27.9	36.4	100.5	158.3	109.1	128.8	61.6	85.0	41.0	11.4	9.1	772.5
1983	6.0	15.0	41.5	145.1	172.3	153.8	152.8	79.0	89.1	63.3	15.9	6.4	940.2
1984	3.1	2.4	4.8	44.1	75.0	<u>151.2</u>	<u>147.3</u>	111.3	90.9	62.8	31.2	1.7	709.7
1985	0.0	6.4	21.1	74.1	86.5	129.4	120.5	105.7	88.7	79.8	47.6	24.5	784.3
1986	7.0	27.5	12.3	237.8	104.1	219.8	135.0	100.2	108.5	121.6	27.8	6.5	1108.1
1987	4.2	1.4	21.8	43.4	108.6	64.9	141.0	103.1	41.4	164.0	44.3	6.9	745.0
1988	0.7	14.6	1.6	81.0	53.1	130.3	128.9	127.7	165.9	70.1	102.8	30.2	906.9
1989	7.8	33.3	28.4	9.2	129.3	119.2	118.8	90.0	130.7	61.4	31.7	8.4	768.2
1990	21.7	23.6	72.3	162.3	135.8	186.4	89.7	120.2	57.3	79.3	66.9	46.0	1061.5
1991	6.3	4.7	47.9	37.8	67.4	86.2	112.9	140.2	110.2	96.3	55.6	3.2	768.7
1992	2.2	16.2	1.8	45.9	59.2	142.5	152.0	137.0	86.0	48.2	48.9	1.5	741.4
1993	0.9	0.0	16.3	122.2	78.4	198.9	81.2	92.6	108.7	29.7	22.3	7.5	758.7
1994	0.4	26.2	53.7	102.7	136.7	156.5	147.1	119.5	107.3	64.9	43.3	11.0	969.3
1995	0.0	0.0	0.0	47.6	54.8	113.1	110.9	118.8	93.1	111.7	24.6	18.7	693.3
Pp media	9.7	14.4	27.2	96.3	108.7	147.1	130.3	117.0	101.9	86.3	47.9	17.5	903.4
Desv. Estándar	14.1	11.5	18.3	62.5	37.5	47.2	31.4	30.4	27.8	36.7	25.2	17.1	140.6
CV (%)	145.3	79.8	67.3	64.9	34.5	32.1	24.1	26.0	27.3	42.5	52.7	97.7	15.6

incidencia de lluvias en septiembre de 1979 y julio de 1981.

Para todas las estaciones, 1981 fue el año más húmedo del conjunto de años con tendencia tetraestacional. Durante 1979 y 1981, en Mucubají no hubo lluvias en el transcurso del mes de enero, lo cual es corroborado con las nulas o casi ausentes precipitaciones para el mismo mes en las estaciones de Los Plantíos y Pico El Águila. En 1981 se presentó una anomalía en el comportamiento de la precipitación en la estación Mucubají, como consecuencia del descenso ocurrido durante el mes de julio, que hizo que ese mes que durante otros años ha registrado abundante precipitación, se comportara como un mes de bajas precipitaciones. Esta disminución en las lluvias durante julio se corrobora con menguas similares en las estaciones Los Plantíos y Pico El Águila.

3. Patrón irregular, no bien definido

Las estaciones de Mucubají, Los Plantíos y Pico El Águila tuvieron un patrón de precipitaciones irregular o no bien definido durante los años 1972, 1974, 1978, 1986 y 1987 (Fig. 3).

El año 1972, la región de Mucubají se caracterizó por presentar una distribución irregular de precipitaciones. Durante el primer trimestre del año mantuvo escasas precipitaciones, seguido luego con un primer pico de precipitaciones en abril, por otro pico en julio y luego un ligero incremento en octubre. Este fue el año más húmedo de toda la serie estudiada en esta investigación.

El año 1974 presentó un patrón algo parecido al de 1972, aunque ningún mes superó los 140 mm de precipitación y dos de los máximos de lluvias estuvieron desplazados un mes. El primer incremento aparece en mayo y el último en septiembre, mientras que el aumento de precipitaciones en julio coincide con el de 1972. La precipitación total anual registrada fue de 746.6 mm, que fue el menor valor para toda la década de los años sesentas del siglo pasado.

El año 1978 presentó el primer trimestre del año con un período seco que se inició en diciembre del año anterior. Los meses de abril y junio registraron un considerable incremento del valor de la precipitación, siendo este último el mes más húmedo del año. Los meses de mayo, julio, septiembre, octubre y noviembre registraron una disminución en las lluvias.

Para 1986, el primer trimestre del año correspondió a un período seco que se inició en diciembre del año anterior, registrando un leve ascenso de la precipitación durante el mes de febrero. El mes de abril registró un incremento significativo en las lluvias, siendo este el mes más húmedo del año. Posteriormente, durante el mes de mayo, ocurrió un considerable descenso de la precipitación. En junio, nuevamente se da un incremento en la cantidad de lluvias. A partir de julio hasta octubre la precipitación se mantuvo más o menos constante, registrando leves ascensos y descensos. Finalmente, en los meses de noviembre y diciembre se registraron descensos significativos en los valores de precipitación, dando inicio a un nuevo período seco. La precipitación total para este año fue de 1108.1 mm, siendo el segundo año más húmedo del período considerado, solamente aventajado por el año igualmente irregular de 1972 (con 1117.8 mm).

El comportamiento de la precipitación fue irregular, también, durante 1987. Este fue uno de los años más secos de la serie (745.0 mm), solamente superado por 1984 (709.7 mm) y 1992 (741.4 mm). Los primeros cuatro meses del año, al igual que septiembre, noviembre y diciembre, fueron meses relativamente secos, siendo febrero el mes más seco del año, con precipitaciones casi nulas. Este año fue el que registró los valores de precipitación más altos durante el mes de octubre, después de octubre 1989, condición que se repitió en todas las estaciones consideradas.

Variabilidad de la Precipitación

Realizamos un estudio del comportamiento general de las precipitaciones basado en dos tipos de análisis, mensual y anual, obtenidos a partir de los gráficos de precipitación (media, máxima y mínima mensual), el estudio de los meses consecutivos más secos y más húmedos y la determinación de los años más secos y húmedos de los períodos analizados en cada una de las estaciones consideradas.

1. Variabilidad mensual

La precipitación media mensual permite visualizar el comportamiento predominante en cada uno de los meses del año, así como el patrón pluviométrico característico de la región, mientras que la precipitación máxima y mínima mensual nos indica el rango dentro del cual se encuentran los datos de un determinado mes.

El comportamiento mensual de la precipitación en la estación Mucubají refleja un patrón biestacional (Fig. 4), caracterizado por la presencia de un período seco que generalmente abarca los primeros tres meses del año, siendo enero el mes que registró los valores más bajos del período analizado. El período húmedo concentra la mayor cantidad de las precipitaciones, extendiéndose desde abril hasta octubre sucediéndose generalmente durante el mes de junio el valor máximo de precipitación. Finalmente, los meses noviembre y diciembre registran un descenso continuo de los valores, dando de esta manera inicio a un nuevo período seco. Durante nuestro período de estudio de 27 años, el área de Mucubají registró una precipitación anual promedio de 903.4 mm. Este valor es menor que el que se había establecido previamente para el área para un período de 10 años, el cual fue de 968.8 mm (Azocar y Monasterio 1980).

La estación Los Plantíos presenta un patrón climático propio del régimen biestacional similar al registrado en el área de Mucubají. El ascenso de la precipitación se inicia a partir de marzo extendiéndose hasta junio, mes que presenta el valor máximo de precipitación. A partir de julio ocurre un descenso de la precipitación, siendo generalmente diciembre un mes seco. La precipitación media anual registrada fue de 1010.2 mm, superior a la de Mucubají.

La precipitación media mensual registrada en la estación Pico El Águila muestra, también, un comportamiento característico del régimen biestacional, que registra un período seco durante el primer trimestre del año. El período húmedo se inicia a partir de abril, abarcando hasta el mes de octubre. Finalmente, en los meses de noviembre y diciembre ocurren descensos considerables en los valores de precipitación. Los valores máximos de precipitación generalmente se

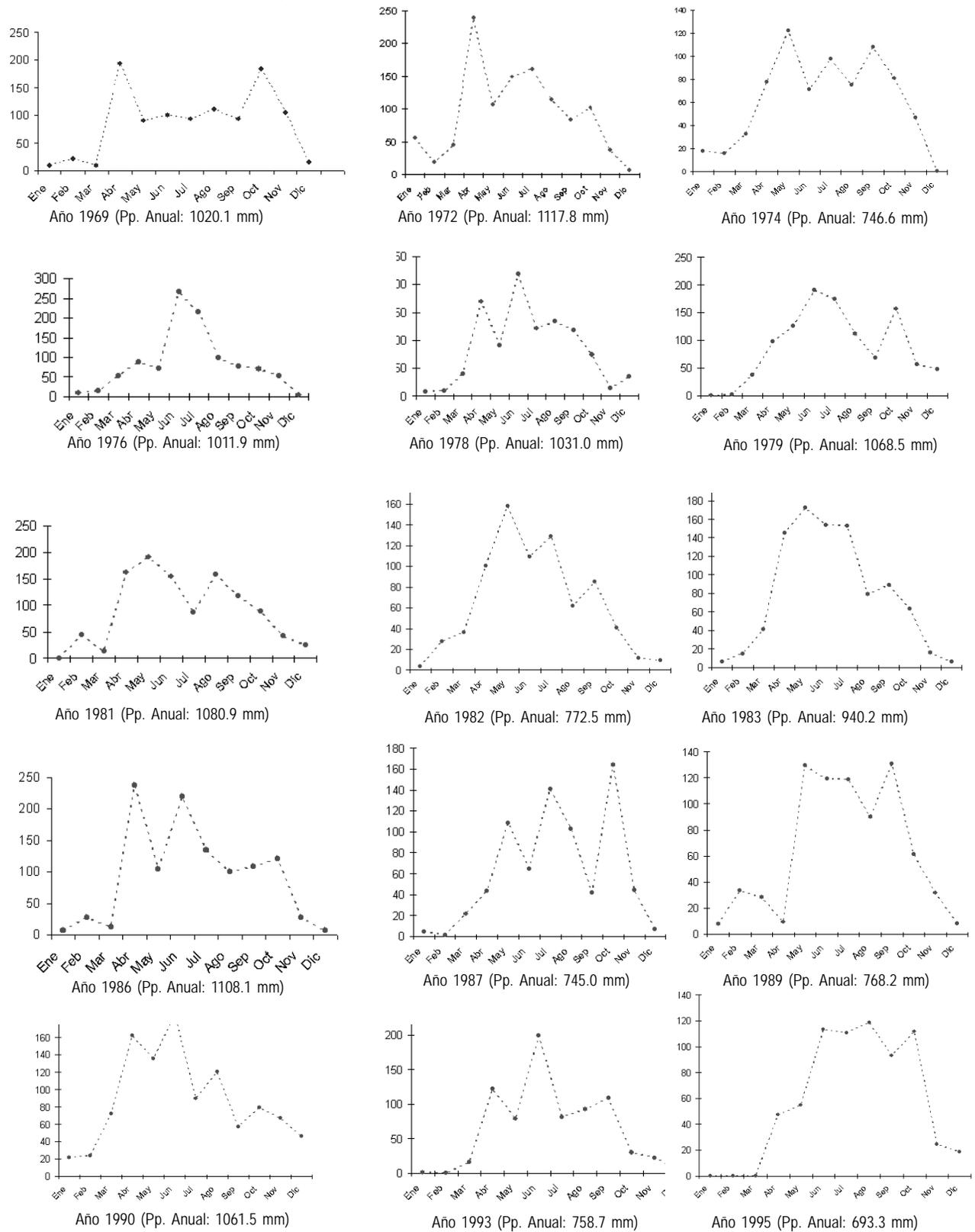


FIG. 3. Selección de pluviogramas para la estación Mucubaj durante el período 1969-1995.
Selected pluviographs for Mucubaj climate station during the period 1969 - 1995.

registran durante el mes de junio, mientras que los mínimos caracterizan los primeros tres meses del año. La precipitación media anual registrada fue de 845.4 mm, inferior a las de las otras dos estaciones estudiadas dentro del área de estudio.

1.1. Meses consecutivos más secos y más húmedos de cada año

Los meses consecutivos más secos y más húmedos se consideraron a partir de períodos bimestrales, trimestrales y cuatrimestrales al nivel anual: es decir, se tomó para cada año, respectivamente, los dos, tres y cuatro meses más secos y/o húmedos a fin de detectar períodos que registrarán valores extremos que pudieran atribuirse como factores involucrados en el declive de las poblaciones de la ranita amarilla de Mucubají, *Atelopus mucubajiensis*.

1.1.1. Períodos bimestrales

En las estaciones Mucubají, Los Plantíos y Pico El Águila, los dos meses más secos del año generalmente se presentan durante diciembre y enero, o enero y febrero; en algunos casos durante los meses de febrero y marzo. De manera excepcional, en la estación Mucubají, los dos meses más secos del año 1989 tuvieron lugar en marzo y abril.

En la estación de Mucubají los períodos bimestrales secos que registran valores extremos o críticos (muy secos) muy por debajo de la media, ocurrieron durante los años 1973, 1974, 1975, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1983, 1984, 1985, 1987, 1988, 1991, 1992, 1993, 1994 y 1995. Observamos dos períodos de cinco años consecutivos que registraron valores extremos: de 1977 a 1981 y de 1991 a 1995; de los cuales se puede decir que el segundo de estos períodos fue el más severo, por registrar los valores de precipitación más bajos. En la estación Los Plantíos los valores críticos de sequía en períodos bimestrales se registraron durante los años 1969, 1973, 1974, 1975, 1977, 1978, 1979, 1980, 1981, 1982, 1983, 1984,

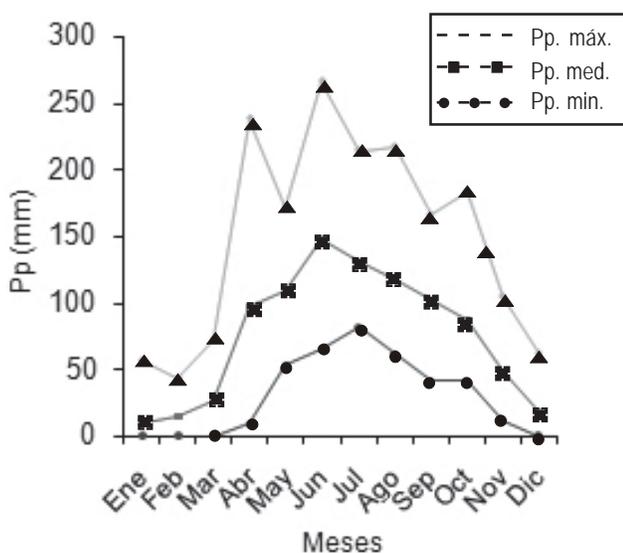


FIG. 4. Variabilidad mensual de la precipitación (Pp, en mm) en Mucubají para el período 1969-1995.

Monthly variability of the precipitation (Pp, in mm) in Mucubají for the period 1969-1995.

1985, 1987 y 1988; presentándose durante nueve años consecutivos valores muy bajos de precipitación. Por otro lado, en la estación Pico El Águila el comportamiento de los períodos bimestrales secos es semejante al de Mucubají, registrándose también dos períodos bimestrales de sequía extrema en años consecutivos.

Si tomamos en consideración los períodos bimestrales húmedos en las tres estaciones analizadas, detectamos que éstos se presentan habitualmente durante los meses de junio y julio. No obstante, en relación con los períodos bimestrales secos, éstos presentan mayor variabilidad en lo que a meses cuando éstos ocurren se refiere; es decir, que los dos picos máximos de precipitación durante el año no suceden continuamente durante los mismos meses. En la estación Mucubají los períodos que registraron valores extremos muy húmedos se dieron durante los años 1970, 1976 y 1979; en Los Plantíos en 1976 y 1981; y en la estación Pico El Águila en 1972, 1976, 1979, 1981, 1982 y 1983.

1.1.2. Períodos trimestrales

Los tres meses consecutivos más secos de los períodos trimestrales analizados generalmente son diciembre, enero y febrero, o enero, febrero y marzo; predominando en las tres estaciones el primer caso. En la estación Mucubají, los períodos trimestrales secos que presentaron valores extremos se registraron en los años 1972-1973, 1974-1975, 1976-1980, 1983-1988, 1992-1995. De estos años, los períodos trimestrales con valores más críticos son 1992-1993 y 1995 (este último con precipitaciones nulas). En el caso de la estación Los Plantíos, los períodos trimestrales consecutivos más secos ocurren en los años 1969, 1972-1975, 1976-1978, 1980, 1984-1985, 1987 y 1988; registrándose durante el lapso diciembre 1976 a febrero 1977 el valor de precipitación más bajo de los períodos trimestrales analizados. En la estación Pico El Águila los trimestres secos con valores extremos se presentaron en los mismos años que los registrados en la estación Mucubají.

Mucubají y Los Plantíos registraron, en gran parte de los años analizados, los períodos trimestrales más húmedos durante los meses de mayo, junio y julio; mientras que en Pico El Águila ocurrieron principalmente durante los meses de junio, julio y agosto. Los períodos trimestrales más lluviosos en la estación Mucubají se sucedieron en los años 1970, 1976 y 1981; en Los Plantíos en 1970, 1976 y 1986, y en la estación Pico El Águila durante los años 1976, 1979, 1981 y 1983.

1.1.3. Períodos cuatrimestrales

Los cuatro meses consecutivos más secos registrados en las estaciones consideradas usualmente son diciembre, enero, febrero y marzo. En la estación Mucubají los períodos cuatrimestrales secos que presentaron valores de precipitación muy bajos (<30 mm) se presentaron durante los años 1983-1985, 1987-1988 y 1991-1995; en el caso de Los Plantíos (< 40 mm) los períodos 1983-1985 y 1987-1988; y en Pico El Águila (<30 mm) en los períodos 1984-1985 y 1991-1993.

En lo que respecta a los cuatro meses consecutivos más húmedos, éstos comúnmente se presentan en diferentes meses en las tres estaciones. En Mucubají, sucede generalmente de junio a septiembre,

dándose casos en los que estos meses se presentan de mayo a agosto o de abril a julio; sin embargo, hay ciertos casos excepcionales en los que se dan de agosto a noviembre (1969) y de julio a octubre (1991). En la estación Los Plantíos el período cuatrimestral más húmedo se presenta en la mayoría de los casos de abril a julio; e igual que en la estación anterior, se registró un caso excepcional durante julio a octubre, pero en este caso en el año 1974. Por su parte, la estación Pico El Águila registró generalmente los cuatro meses más secos de abril a julio; aún cuando hay, también, un caso excepcional durante los meses de agosto a noviembre (1969). Los valores extremos húmedos en las estaciones Mucubají y Los Plantíos se presentaron durante los mismos años, 1970 y 1972, 1976 y 1986, mientras que en la estación Pico El Águila se presentaron en los años consecutivos de 1981, 1982 y 1983.

2. Variabilidad anual

El estudio del comportamiento de la precipitación anual se realizó con base en la determinación de los años que registraron tanto valores bajos de precipitación (años secos) como valores altos (años húmedos), teniendo como referencia la media anual registrada para el período de años considerados en el estudio y la respectiva desviación estándar (véase sección de Materiales y Métodos).

La estación Mucubají durante el período 1969–1995 registró años muy húmedos con precipitaciones superiores a los 1000 mm, dentro de los que se encuentran 1970, 1972, 1979, 1981, 1986 y 1990. Los años 1972 y 1986 se destacaron como los años más húmedos del período analizado, los cuales registraron una precipitación total anual superior a los 1100 mm. Los años más secos registrados en dicha estación son 1974, 1984, 1987, 1992, 1993 y 1995, los cuales presentaron precipitaciones anuales inferiores a los 760 mm. De este grupo de años, 1995 y 1984 fueron los que registraron los valores más bajos.

Para la estación Los Plantíos los años considerados como húmedos son 1972, 1986 y 1990, los cuales registraron valores de precipitación anual superiores a 1200 mm; con 1972 como el año más húmedo. Por el contrario, los años más secos registrados en esta estación son 1974, 1982, 1984, 1987 y 1989, siendo 1974 el año más seco. Gran parte de estos años registrados en Los Plantíos coinciden con algunos de los años húmedos y secos registrados en la estación Mucubají.

En el caso de la estación Pico El Águila los años más húmedos que registraron precipitaciones superiores a 980 mm fueron 1972, 1981, 1982 y 1990, con 1981 como el año más húmedo. Los años que presentaron valores de precipitación bajos (años secos) en esta estación fueron 1971, 1984, 1989, 1992, 1993 y 1995; siendo 1992 el año más seco del período analizado.

La estación Pico El Águila registró, en comparación con las otras estaciones, algunas diferencias en relación a cuando sucedieron los años secos y húmedos; sin embargo, la mayoría de los años secos y húmedos se repiten en las tres estaciones, indicando un comportamiento similar durante el período de años considerados. Para poner a prueba esta afirmación y analizar la variabilidad interanual de la precipitación en cada una de las estaciones, se recurrió a calcular el coeficiente de variación como la medida estadística de dispersión de los datos para cada una de las estaciones.

En general, los datos muestran que no existen valores significativamente diferentes que indiquen distintos comportamientos de la precipitación entre las estaciones. Con todo se puede colegir que, a pesar de que las estaciones consideradas en este estudio se encuentran ubicadas a distintas altitudes y registran medias anuales de precipitación totalmente diferentes, todas presentan una variabilidad interanual semejante, al menos durante el período de años estudiado. Quiere decir que, por ejemplo, cualquier cambio en la precipitación anual registrado en Mucubají, también se ve reflejado en los registros de Los Plantíos y Pico El Águila. El clima de Mucubají es parte de una dinámica climática que afecta un área mayor, como parece indicar las similitudes con las alteraciones climáticas que afectan los bosques nublados en las inmediaciones de la ciudad de Mérida, en la cuenca del río Chama, para períodos similares (cf. Albornoz y García 2003, García *et al.* 2007). Allí, los años típicamente más secos registrados durante el período 1975–1990 fueron 1977, 1984, 1987 y 1989, de los cuales 1984 y 1987 coinciden con años secos ocurridos en la región de Mucubají, indicando cierta relación entre los cambios climáticos ocurridos en ambas áreas de estudio.

Tendencias en el comportamiento de la precipitación

La tendencia en el comportamiento de la precipitación refleja la inclinación que siguen los valores de precipitación a lo largo del tiempo. En este caso el análisis tendencial se realizó a partir del método de los promedios móviles de orden 5 (quinquenales), resumidos en una ecuación de línea recta que indica la tendencia. La Fig. 5 muestra la tendencia predominante en el comportamiento de las precipitaciones de cada una de las estaciones consideradas en el estudio. En general, las tres estaciones muestran tendencia hacia la disminución de los valores de precipitación, siendo más evidente en las estaciones Mucubají y Pico El Águila, mientras que en la estación Los Plantíos la declinación es menos acentuada.

Comportamiento de la temperatura

Solamente contamos con registros de temperatura para los años 1969–1983, en la estación Mucubají. De todos estos datos se puede colegir que los menores valores de temperatura para un año determinado generalmente coinciden con el período seco de ese año, mientras que las temperaturas más elevadas están asociadas con los períodos húmedos. Esta afirmación puede ser corroborada con las tendencias para los años 1972, 1974 y 1981–1983, cuando las mínimas temperaturas se sucedieron durante el período seco y las más elevadas durante el período de máximas precipitaciones. Concordamos con los resultados de Azocar y Monasterio (1980) quienes concluyeron que las temperaturas mínimas más bajas se sucedían durante los meses de diciembre a marzo. No obstante, en esta investigación encontramos que hay notorias excepciones que se escapan a este patrón: para 1978, el valor más alto de temperatura coincidió con otro mes seco para ese año (noviembre) mientras que el valor más bajo coincidió con uno de los meses más secos (enero); para 1979, el valor más bajo de temperatura se registró en los meses de abril y julio, fuera del período más seco, aún cuando el valor más elevado ocurrió en octubre, uno de los meses más húmedos.

Las temperaturas medias anuales registradas para el período 1969–1983 estuvieron en un rango entre 4.4 °C (en el año 1981) y

7.2 °C (en 1983). La amplitud térmica media interanual máxima fue de 2.8 °C. Las amplitudes térmicas intraanuales para el período 1969-1983 variaron entre 1.5 °C (en 1979) y 4.4 °C (en 1981).

Fenómeno climático "El Niño"/Oscilación del Sur

Algunas alteraciones climáticas (años anormalmente secos) experimentadas durante la década de los años ochenta del siglo pasado en la cuenca del río Chama pudieron deberse al fenómeno de "El Niño" (García *et al.* 2007). Según Capel (1999) este fenómeno cíclico de duración variable consiste en el calentamiento anómalo de la superficie del mar en más de 2 °C sobre los valores normales, durante un período por lo menos de cuatro meses a lo largo de la línea ecuatorial en los sectores central y oriental del océano Pacífico. Este comportamiento anómalo de la superficie del mar está asociado con una vasta fluctuación de la presión atmosférica entre los flancos oriental y occidental de este océano. Debido a que las grandes variaciones del campo de presión afectan la atmósfera de toda la Tierra, cualquier lugar en este planeta se vería influenciado en su climatología por las condiciones atmosféricas y oceánicas que rigen en el Pacífico Tropical (Capel 1999).

Varios de los años que registraron valores de precipitación anormalmente bajos, indicando períodos típicamente secos, coinciden con algunos de los eventos del fenómeno natural El Niño ocurridos en Latinoamérica, por lo que posiblemente el comportamiento anómalo que presentó el Páramo de Mucubají en algunos años pudo estar influenciado por este fenómeno. En los gráficos de precipitación total mensual (Fig. 3) se puede visualizar que, ciertamente, algunos de los años considerados en esta investigación registraron intensificaciones en cuanto a la duración del período de sequía. Tal es el caso de los períodos 1982-1983, 1983-1984; en los cuales el período seco se extendió durante seis meses, así como en 1987, que presentó siete meses secos dentro de ese año. Todos estos años han sido clasificados como años muy secos, con una correspondencia directa con años de influencia del fenómeno. Para los períodos secos 1972-1973 y 1991-1993 existe, también, una correspondencia con eventos El Niño de moderados a muy fuertes (Tabla 2). De esta correspondencia se escapan los períodos relativamente secos de 1974-1975, 1977 y 1995, que no guardan relación aparente con los eventos de moderados a fuertes de este fenómeno climático.

La coincidencia de la mayoría de los años con períodos secos en la región de Mucubají con eventos de El Niño, permite suponer que estos últimos pudieron haber jugado un papel importante en la generación de estos períodos anormalmente secos.

Especie de estudio

Los registros de museo para *Atelopus mucubajiensis* en las dos instituciones las cuales albergan el mayor número de ejemplares andinos de Venezuela, que son la Colección de Anfibios y Reptiles del Laboratorio de Biogeografía de la Universidad de los Andes (ULABG) y la Colección de Vertebrados de la Universidad de Los Andes (CVULA), revelan que de la región de Mucubají se han extraído y preservado con fines científicos al menos 50 ejemplares capturados entre los años 1979 y 1994 a elevaciones entre 2500 y

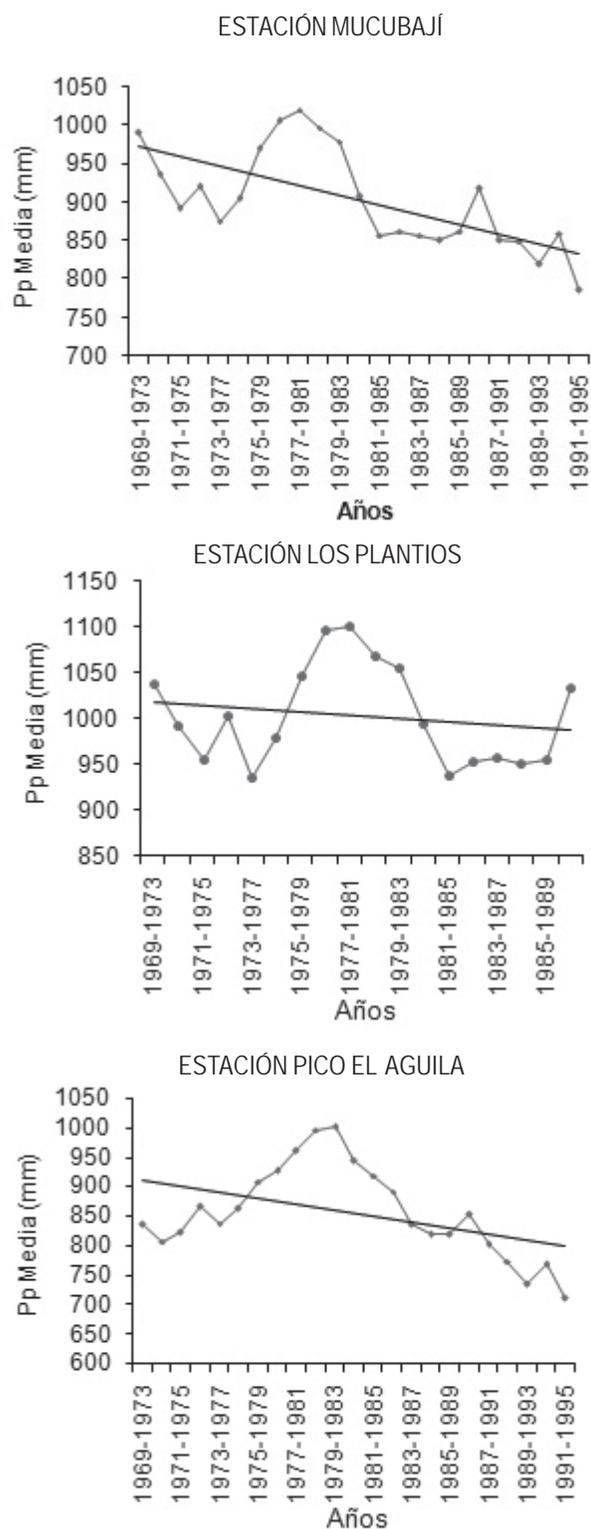


FIG. 5. Variabilidad mensual de la precipitación en estaciones climáticas en la región de Mucubají, usando promedios móviles de orden 5.

Monthly variability in precipitation in climate stations at Mucubají region, employing movable averages of order 5.

3600 msnm. La cifra total es de hecho mayor si tomamos en consideración todos los ejemplares depositados en otros museos en diferentes períodos, que ascienden a casi 140 especímenes (cf. La Marca y Reinthaler 1991). La especie era localmente abundante en la región de Mucubají (La Marca y Lötters 1997). El último ejemplar de museo data de 1994. Desde entonces, su frecuencia de aparición ha sido cada vez más escasa, con solamente un ejemplar observado en este siglo (Lötters *et al.* 2005). Los únicos registros conocidos de renacuajos, de acuerdo con datos en ULABG, fueron obtenidos durante los meses de marzo 1988 (localidad de El Baho, 2700 m) y noviembre-diciembre 1992 (localidad de La Corcovada, 3000 m).

DISCUSIÓN

El análisis climático del páramo de Mucubají refleja un patrón de precipitaciones biestacional para esta región de los altos Andes venezolanos. El estudio de la variabilidad interanual en las estaciones climatológicas de Mucubají, Los Plantíos y Pico El Águila demostró que este patrón de precipitaciones no es constante a lo largo del tiempo, y que ciertos años se desvían un poco de la norma, mientras que otros presentan una tendencia tetraestacional, e incluso otros son tan irregulares que no pueden ser clasificados dentro de alguno de los patrones conocidos. Los años que presentan una tendencia hacia la tetraestacionalidad no se comparan con aquellos propios del régimen tetraestacional del Lago de Maracaibo que impera en la cuenca del río Chama, donde hemos llevado a cabo estudios similares (García *et al.* 2007). En estos últimos hay un período bien definido de bajas precipitaciones entre los meses de mayo y junio, y picos máximos durante abril-mayo y septiembre-noviembre, mientras que en Mucubají no existe un patrón bien definido.

Los gráficos acumulados de precipitación media, máxima y mínima mensual no reflejan las anomalías ocurridas durante algunos años en las estaciones consideradas, resultando malos indicadores de la variabilidad anual en el comportamiento de las precipitaciones. Debido a que estos son poco confiables al momento de realizar interpretaciones ecológicas detalladas, realizamos un análisis de los meses consecutivos más secos y húmedos a fin de detectar períodos anormalmente secos que posiblemente hayan afectado al área de estudio. Cuando se llevó a cabo el análisis de períodos bimestrales secos se notó que a partir de 1977 se incrementó la frecuencia con que ocurrieron los períodos que registraron sequía extrema, disminuyendo cada vez más los valores de precipitación total por

período. En lo que respecta a los períodos bimestrales muy húmedos, estos se dieron principalmente durante la década de los años 70 del siglo XX; lo que marca una clara tendencia en el comportamiento de la precipitación durante el período de años analizados, caracterizada por la continua disminución de las precipitaciones. En el análisis de los períodos trimestrales se observa nuevamente que los valores de precipitación más bajos se registran generalmente durante los cuatro últimos años analizados (1992-1995). Y, finalmente, cuando se realiza el estudio por períodos cuatrimestrales se corrobora que, generalmente, los períodos muy húmedos se presentan antes del año 1984, mientras que los períodos muy secos ocurren habitualmente a partir de este último año.

La falta de una secuencia completa en datos de temperatura impide hacer aseveraciones sobre tendencias en este factor climático. Solamente es posible notar que la máxima temperatura registrada coincide con el último año de registros (1983). Si presumimos que las variaciones de temperatura en Mucubají parangonan las variaciones de precipitación acopladas entre esta región y la cuenca del río Chama, podemos extrapolar que aquí también pudo haber ocurrido un aumento de temperaturas hacia finales del siglo XX como el que aconteció en esta última. El hecho de que 1983 sea el año más cálido en ambos casos así lo corrobora.

Cuando comparamos los registros climáticos con los eventos conocidos como fenómeno de El Niño constatamos que todos estos eventos coinciden con años considerados como típicamente más secos en el Páramo de Mucubají. Hay un paralelismo entre este descubrimiento y los resultados similares arrojados por nuestro estudio climático previo en la cuenca del río Chama para el mismo período. Desafortunadamente, no contamos con datos de caudal de los cursos de agua en el área de estudio como para poder hacer otras correlaciones.

Varios autores han correlacionado los cambios climáticos con la disminución de ranas *Atelopus*. La Marca y Reinthaler (1991) fueron pioneros al aventurarse a atribuir disminuciones de algunas poblaciones de *Atelopus* a los cambios climáticos en las regiones donde estos habitan. Investigaciones posteriores han alimentado esta hipótesis, a través de estudios en el amplio rango de distribución neotropical de este género (cf. Pounds y Crump 1994, Pounds *et al.* 1999, Pounds 2001, Ron *et al.* 2003, Pounds y Pushendorf 2004, La Marca *et al.* 2005, Pounds *et al.* 2006, García *et al.* 2007). Los cambios climáticos pueden afectar la ecología de estos anfibios y pueden actuar en asociación con enfermedades patógenas para

TABLA 2. Características de diferentes eventos de El Niño para el período 1972-1992

TABLE 2. Characteristics of different El Niño events for the period 1972-1992..

PERÍODO*	DURACIÓN (MESES)*	CLASIFICACIÓN*	AÑO MUY SECO*
Mayo 1972-Febrero 1973	10	Fuerte	1973
Mayo 1982-Abril 1983	12	Muy Fuerte	1982-1984
Noviembre 1986-October 1987	12	Moderado	1987
Marzo 1991-Agosto 1992	17	Fuerte	1992

*Fuente: Capel 1999.

contribuir con el declive (Pounds y Crump 1994, La Marca *et al.* 2005).

Como otros anfibios, las ranas *Atelopus* dependen para su subsistencia particularmente de la precipitación y la temperatura; ya que su desarrollo y actividades biológicas están grandemente influenciados por la disponibilidad hídrica en el ambiente. Los eventos de máxima sequía que se han hecho más importantes hacia finales del siglo XX pueden ser responsables de combinaciones sinérgicas entre la fisiología de los anfibios, su susceptibilidad hacia agentes patógenos, potencial deshidratación e, incluso, posible pérdida del esfuerzo reproductivo en períodos secos sucesivos. En relación con este último aspecto, es poco o casi nada lo que se conoce de la reproducción de la única especie de *Atelopus* que vive en el área de estudio. Los renacuajos depositados en el Laboratorio de Biogeografía de la Universidad de los Andes (ULABG) permiten suponer que el período de reproducción de *Atelopus mucubajiensis* comienza en la primera mitad del año, antes del pico máximo de precipitación. La fecha de captura de esas larvas (noviembre, diciembre y marzo) corrobora que éstas se están desarrollando durante el período más seco del año, cuando el caudal de los cursos de agua está en su punto más bajo. Sin embargo, desconocemos cuanto tiempo dura el desarrollo larval y no se conocen fechas de posturas de huevos ni ejemplares recién metamorfoseados como para precisar las fechas de inicio y finalización de este proceso.

Posiblemente la manifestación de años secos consecutivos a finales del siglo XX (1992, 1993 y 1995) impidió un reclutamiento exitoso para *Atelopus mucubajiensis* en esos años. Si observamos los valores de precipitación mensual para estos años (Tabla 1) se puede deducir que en el caso que la reproducción haya ocurrido normalmente en el año 1992, pudo haberse dado un esfuerzo reproductivo bajo como consecuencia del subsiguiente período trimestral típicamente más seco, acaecido desde diciembre 1992 hasta febrero de 1993, el cual registró precipitaciones casi nulas. En 1993 el esfuerzo reproductivo es posible que, nuevamente, se viese afectado en forma negativa, debido a la aparición de un período muy seco que se extendió durante cinco meses consecutivos, iniciándose en octubre (1993) y finalizando en febrero (1994). En el año 1994 se dieron mejores condiciones para que hubiese un esfuerzo reproductivo exitoso, pero a finales de este año e inicios del año 1995 sobrevino un período muy seco que se acentuó en los primeros tres meses de este último año, los cuales registraron precipitaciones nulas. La falta de reclutamiento en esos años pudo afectar el tamaño poblacional de la especie en el área de estudio. Quizás estas poblaciones puedan de alguna manera contrarrestar cualquier declive cuando los adultos se reproduzcan en períodos más favorables, lo cual seguramente se vería favorecido por la notable longevidad que alcanzan algunos de sus ejemplares (La Marca, 1984, reportó ejemplares de otro *Atelopus* andino venezolano con un tiempo de vida de por lo menos 10 años).

La participación del hombre en forma directa o indirecta puede ser responsable de parte del declive de *Atelopus mucubajiensis*. Aunque este anfibio ha sido tradicionalmente considerado como una especie de páramo, es muy probable que su hábitat original

sea el sub-páramo (también denominado arbustal pre-paramero o chiribital andino), justo por encima del bosque nublado. El sub-paramo en la región de Mucubají ha sido altamente degradado, quedando sólo relictos de la vegetación original. El uso de madera para construir viviendas o hacer fuego desde tiempos inmemoriales destruyó buena parte de la cobertura original, dejando una superficie que fue invadida por elementos de páramo, por lo que algunos de los lugares ocupados actualmente por la especie bien pudieran considerarse como páramos secundarios. Los registros de *Atelopus mucubajiensis* en ambientes relativamente abiertos a elevaciones menores de 2800 metros en vertientes húmedas, donde todavía quedan remanentes de vegetación pre-paramera, corroboran esta hipótesis. En este sentido, la destrucción de hábitat pudo ser un factor un factor que, en conjunción con otros, puede estar incidiendo en la supervivencia de la especie. La introducción de coníferas y peces exóticos, las quemadas ocasionales (Fig. 6), la contaminación de cursos de agua por agroquímicos, son sólo parte del repertorio de acciones humanas no estudiadas que pudieran estar afectando directamente algunas especies en esta región. Como probable efecto humano indirecto, el cambio climático global pudiera estar contribuyendo otro tanto. Los altos valores de radiación ultravioleta reportados para el área (Middleton *et al.* 2001) pueden ser otra evidencia de este cambio o bien, en el mejor de los casos, de otro factor que pudiese estar incidiendo negativamente sobre estas y otras especies.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio climatológico de las estaciones meteorológicas Mucubají, Los Plantíos y Pico El Águila en la región del Páramo de Mucubají para el período 1969-1995, indican que allí se manifiesta un régimen climático biestacional. Este último estaría determinado por la influencia marcada del clima predominante en los Llanos de Venezuela, hacia donde drena la cuenca del río Santo Domingo que nace aquí. Bajo este tipo climático, durante el año se sucede en Mucubají un período seco que generalmente abarca desde diciembre hasta marzo, seguido por uno húmedo de abril a octubre, siendo noviembre un mes transicional que indiferentemente se comporta como mes húmedo o seco. La reproducción de *Atelopus*



FIG. 6. Vegetación quemada en el páramo de Mucubají.
Burnt vegetation in paramo Mucubají.

mucubajiensis se ajusta a este régimen climático, con un período de reproducción ligado a la estación seca interanual. La norma de biestacionalidad se ve alterada durante algunos años en los cuales la tendencia se desvía un poco del régimen biestacional, asemejándose más a uno tetraestacional, con algunos períodos francamente irregulares o sin patrón definido.

La falta de secuencias continuas en los registros de temperatura para el área de estudio impide realizar un análisis para determinar si aunado a los períodos de sequía existe cierta tendencia hacia el incremento de la temperatura, lo que contribuiría con la deshidratación de las ranas *Atelopus* (haciéndolas propensas a inmunodepresión por stress hídrico) y con la disminución del caudal de las quebradas (con una consiguiente mayor exposición de los renacuajos a la radiación ultravioleta).

El estudio de períodos consecutivos bimestrales, trimestrales y cuatrimestrales que registran valores extremos muy secos y/o muy húmedos revela que, generalmente, los meses consecutivos más secos a finales del siglo XX se sucedieron a partir de la década de los años 80 (particularmente a partir de 1984), mientras gran parte de los meses consecutivos más húmedos se registraron durante la década de los 70. Esto se hace particularmente evidente hacia las últimas dos décadas del siglo pasado, cuando la frecuencia de períodos muy húmedos disminuyó, mientras que los períodos muy secos se incrementaron. Para este último período es que ha sido reportado gran parte del declive masivo en las poblaciones de ranas arlequines (género *Atelopus*) de los Andes de Venezuela. Hace falta más estudios para constatar si condiciones anormalmente secas se repitieron en otras regiones donde poblaciones de *Atelopus* han experimentado disminuciones. También hace falta estudios para determinar si las sequías prolongadas pueden afectar el ciclo de reproducción u otros aspectos ecológicos de los *Atelopus*, que pueda haber traído como consecuencia su declive poblacional.

Algunos de los años anormalmente secos a finales del siglo XX coinciden con años de manifestación del fenómeno de El Niño, que trajo como consecuencia la intensificación de los períodos de sequía en la región andina venezolana (particularmente en las cuencas de los ríos Santo Domingo y Chama), los cuales llegaron inclusive a prolongarse por seis meses consecutivos. Estos eventos pudieron facilitar la infección y propagación de enfermedades patógenas, entre ellas el hongo quitridio *Batrachochytrium dendrobatidis*, tal como lo han postulado varios autores. Los mecanismos involucrados en el contagio, propagación y efecto deletéreo de este último no son del todo comprendidos, pero es probable que este agente patógeno no haya actuado solo, sino en conjunción con otros factores que pudieran estar actuando en sinergia para causar estrés e inmunodeficiencia en las ranas.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está basado en resultados obtenidos para la tesis inédita de SSP (Santiago-Paredes 2004) y es continuación de las investigaciones sobre el declive de anfibios andinos venezolanos llevadas a cabo por el segundo autor.

ELM desea expresar su reconocimiento especial a Bruce Young, beneficiario de una beca de investigación por parte de la National

Science Foundation de Estados Unidos (NSF Grant DEB-0130273) de la cual, y a través de la red RANA (Red de Análisis para los Anfibios Neotropicales Amenazados), se benefició esta investigación. Fondos parciales se derivaron de financiamiento aportado por el fondo de la Iniciativa de Especies Amenazadas (IEA) de la ONG venezolana PROVITA y por el proyecto de Conservation International Foundation (CI) "Emergency CR species evaluation: *Atelopus soriano* (La Marca, 1983) Venezuela, South America", a través de la Fundación BIOGEOS para el estudio de la diversidad biológica.

La Dirección de Hidrología y Meteorología del Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales de Venezuela proporcionó generosamente los datos primarios para la elaboración de los termopluviogramas. Agradecemos a Gustavo Silva por todas las valiosas sugerencias y correcciones en el área de climatología, que ayudaron a mejorar sustancialmente este trabajo.

REFERENCIAS

- Albornoz R., R. e I. García B. 2003. Estudio de la precipitación y temperatura en la selva nublada de Monte Zerpa y sus posibles implicaciones en la disminución de poblaciones de *Atelopus oxyrhynchus* (Mérida, Venezuela). Tutor Principal: E. La Marca. Trabajo Especial de Grado para optar al Título de Geógrafo. Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 103 pp. + 1 mapa.
- Azocar, A. y M. Monasterio. 1980. Caracterización ecológica del clima en el páramo de Mucubají. Pp. 207-223 *In* M. Monasterio (ed.). Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela.
- Capel, J. 1999. El Niño y el sistema climático terrestre. Ariel S. A. Barcelona – España. 154 pp.
- García, I.J., R. Albornoz y E. La Marca. 2007. Perturbaciones climáticas y disminución de *Atelopus oxyrhynchus* (Amphibia: Anura) en los Andes de Venezuela. *Herpetotropicos* 2(2):63-71.
- IUCN, Conservation International y NatureServe. 2004. Global Amphibian Assessment. www.globalamphibians.org. Visitado el 15 julio 2005.
- La Marca, E. 1984. Longevity in the Venezuelan yellow frog *Atelopus oxyrhynchus carbonerensis* (Anura:Bufonidae). *Transactions of the Kansas Academy of Science* 87(1-2):66-67.
- La Marca, E. y S. Lötters. 1997. Monitoring of declines in Venezuelan *Atelopus*. Pp. 207-213 *In* W. Böhme, W. Bischoff & T. Ziegler (eds). *Herpetologia Bonnensis*. Bonn, Germany.
- La Marca, E. y H.P. Reintaler. 1991. Population changes in *Atelopus* species of the Cordillera de Mérida, Venezuela. *Herpetological Review* 22(4):125-128.
- La Marca, E. 1994. Ecología de anfibios en dos ambientes contrastantes (selva nublada y páramo) de la Cordillera de Mérida, Venezuela. Anuario de Investigación 1991, Instituto de Geografía, Univ. Los Andes:31-37.
- La Marca, E. 2005. Dos nuevas especies de ranas (Amphibia: Leptodactylidae) de páramo del Parque Nacional Sierra Nevada, Venezuela. *Herpetotropicos* 2(1):47-54.
- La Marca E., K.R. Lips, S. Lötters, R. Puschendorf, R. Ibáñez,

- J.V. Rueda-Almonacid, R. Schulte, C. Marty, F. Castro, J. Manzanilla-Puppo, J.E. García-Pérez, F. Bolaños, G. Chaves, J.A. Pounds, E. Toral y B.E. Young. 2005. Catastrophic population declines and extinctions in neotropical harlequin frogs (Bufonidae: *Atelopus*). *Biotropica* 37(2):190-201.
- Lötters, S., E. La Marca, R.W. Gagliardo, C.J. Señaris & M. Veith. 2005. Harlequin frogs back? Some thoughts and speculations. *Froglog* 70:1-3.
- Middleton, E.M., J.R. Herman, E.A. Celarier, J.W. Wilkinson, C. Carey y R.J. Rusin. 2001. Evaluating ultraviolet radiation exposure with satellite data at sites of amphibian declines in Central and South America. *Conservation Biology* 15:914-929.
- Monasterio, M. y S. Reyes. 1980. Diversidad ambiental y variación de la vegetación en los Páramos de los Andes venezolanos. Pp. 47-91 *In* M. Monasterio (ed.). *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*. Universidad de los Andes. Mérida-Venezuela.
- Pounds, A. 2001. Climate and amphibian declines. *Nature* 410:639-640.
- Pounds, A. y M. Crump. 1994. Amphibian declines and climate disturbance: the case of the Golden Toad and the Harlequin Frog. *Conservation Biology* 8 (1):72-85.
- Pounds, A., M. Fogden y J. Campbell. 1999. Biological response to climate change on a tropical mountain. *Nature* 398:611-614.
- Pounds, A. y R. Pushendorf. 2004. Clouded futures. *Nature* 427:107-109.
- Pounds, J.L., M.R. Bustamante, L.A. Coloma, J.A. Consuegra, M.P.L. Fogden, P.N. Foster, E. La Marca, K.L. Masters, A. Merino-Viteri, R. Puschendorf, S.R. Ron, G.A. Sanchez-Azofeifa, C.J. Still y B.E. Young. 2006. Widespread amphibian extinctions from epidemic disease driven by global warming. *Nature* 439:161-167.
- Rodríguez, J.P. y F. Rojas-Suárez. 2003. Libro Rojo de la Fauna Venezolana. Segunda edición, ampliada (segunda impresión). PROVITA y Fundación Polar. Caracas. 472 Pp.
- Ron, S.R., W.E. Duellman, L.A. Coloma y M.R. Bustamante. 2003. Population decline of the jambato frog, *Atelopus ignescens* (Anura: Bufonidae) in the Andes of Ecuador. *Journal of Herpetology* 37:116-126.
- Santiago-Paredes, S. 2004. Variaciones climáticas en la región de Mucubají, Andes venezolanos, y sus implicaciones en la disminución del anfibio *Atelopus mucubajiensis*. Tutor Principal: Enrique La Marca. Trabajo Especial de Grado inédito para optar al Título de Geógrafo. Escuela de Geografía, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 113 pp. + 1 mapa.
- Sarmiento, G. 1986a. Los principales gradientes ecoclimáticos en los Andes Tropicales. Pp. 47-64 *In* Anales del IV Congreso Latinoamericano de Botánica. 29 de Junio al 5 de Julio de 1986. Medellín, Colombia.
- Sarmiento, G. 1986b. Ecological features of climate in high tropical mountains. Pp. 11-45 *In* F. Vuilleumier y M. Monasterio (eds.). *High Altitude Tropical Biogeography*. Oxford University Press, New York-Oxford.