

4. IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

4.1. Introducción

La preocupación mundial por los probables impactos que puedan ocasionar los cambios en el sistema climático global, y sus consecuentes perjuicios sobre las diferentes actividades humanas y los recursos naturales, ha creado la necesidad de que los países del mundo consideren la posibilidad de formular políticas e implementar acciones que contemplen reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, causantes del calentamiento atmosférico global y del cambio climático.

La evaluación de los probables impactos del cambio climático requieren de dos elementos fundamentales. En primer lugar, es necesario elaborar los escenarios de cambio climático probables a diferentes horizontes de tiempo, de tal manera que permitan descubrir la posible intensidad de las variaciones en el clima. En segundo lugar, los estudios de impacto necesitaban datos sobre la sociedad que tendrá que asumir o sufrir estos impactos, por lo tanto se realizó el estudio de los escenarios climáticos y socioeconómicos, que proporcionaron información valiosa sobre la sociedad nicaragüense del siglo XXI. La sociedad del próximo siglo no será idéntica a la actual, en términos de población, riqueza producida, consumo de electricidad, agua potable, etc. Tales proyecciones se presentan en los Escenarios Climáticos y Socioeconómicos para el Siglo XXI en Nicaragua.

4.2. Escenarios Climáticos y Socioeconómicos de Nicaragua para el siglo XXI

4.2.1. Escenarios climáticos

El valor teórico—práctico de los resultados de los escenarios climáticos es la posibilidad que estos brindan de ser utilizados para valorar los impactos del cambio climático en diferentes horizontes de tiempo y para distintos sectores (recursos hídricos, agricultura, bosques, etc.), permitiendo de esta forma insertar los resultados de estos estudios en los planes de desarrollo del país, ajustados a las nuevas condiciones impuestas por los cambios climáticos.

El objetivo de los escenarios climáticos fue el de proyectar el comportamiento futuro de las principales variables climáticas en Nicaragua para los próximos 100 años, sobre la base de la elaboración de tres escenarios: pesimista, moderado y optimista, los cuales están interrelacionados con los escenarios de emisiones de GEI desarrollados por el IPCC para sus diferentes reportes de evaluación de impactos.

Los modelos utilizados fueron el MAGICC para la generación de los escenarios de emisión de gases de efecto invernadero, y el SCENGEN para la generación de escenarios climáticos (ambos modelos creados por la Universidad de East Anglia, Reino Unido). Los futuros patrones temporales y espaciales del clima fueron obtenidos mediante la utilización de modelos de circulación general tales como HADCM2, vinculados con las salidas del modelo MAGICC,

obteniéndose de esta forma un patrón de cambio normalizado, es decir, cambio de una variable por grado de calentamiento global.

Los escenarios climáticos utilizados se fundamentan en los escenarios de emisiones del IPCC: IS-92a, IS-92d e IS-92c (pesimista, moderado y optimista, respectivamente). Los horizontes de tiempo seleccionados fueron 2010, 2030, 2050, 2070 y 2100. Las proyecciones se realizaron con respecto a la serie climática 1961—1990, utilizada ampliamente por la Organización Meteorológica Mundial.

Los resultados de las simulaciones del clima en el territorio de la República de Nicaragua, muestran las variaciones de las principales características del tiempo atmosférico (temperatura, precipitación y nubosidad), para cada uno de los escenarios de emisiones de GEI para el siglo XXI, a tres horizontes de tiempo, y en las dos vertientes de Nicaragua. Los datos presentados en el Cuadro 4.1, son promedios anuales de las variables meteorológicas analizadas.

Cuadro 4.1. Proyecciones del clima futuro de Nicaragua para el siglo XXI.

Horizonte de tiempo	ESCENARIOS					
	Pesimista IS-92a		Moderado IS-92d		Optimista IS-92c	
	Pacífico	Caribe	Pacífico	Caribe	Pacífico	Caribe
PRECIPITACIÓN EN %						
2010	-8.4	-8.2	-7.9	-7.7	-7.9	-7.7
2050	-21.0	-20.5	-16.9	-16.5	-16.2	-15.8
2100	-36.6	-35.7	-25.3	-24.7	-21.0	-20.5
TEMPERATURA EN 0C						
2010	0.9	0.8	0.8	0.7	0.8	0.7
2050	2.1	1.9	1.7	1.5	1.6	1.5
2100	3.7	3.3	2.6	2.3	2.1	1.9
NUBOSIDAD EN %						
2010	-3.6	-4.0	-3.4	-3.7	-3.4	-3.7
2050	-9.0	-9.9	-7.2	-7.9	-6.9	-7.6
2100	-15.6	-17.2	-10.8	-11.9	-9.0	-9.9

Comparando los dos extremos de los escenarios climáticos (pesimista y optimista) para las tres variables climáticas (precipitación, temperatura y nubosidad) en las vertientes del Pacífico y Atlántico de Nicaragua, se observa que la precipitación media anual disminuirá desde – 8.4% (-7.9)¹³ hasta –36.6% (-21.0) en el Pacífico, y de -8.2% (-7.7) a –35.7% (-20.5) en el Atlántico; mientras que la temperatura media anual aumentará en el Pacífico de 0.9° (0.8) a 3.7°C (2.1), y de 0.8° (0.7) a 3.3°C (1.9) en el Atlántico. Al mismo tiempo se espera que disminuya el campo nuboso medio de –3.6% (-3.4) a –15.6% (9.0) en el Pacífico, y de –0.4% (-3.7) a –17.2% (-9.9) en el Atlántico, para los años 2010 y 2100 respectivamente.

¹³ Entre paréntesis se muestran los resultados del escenario optimista.

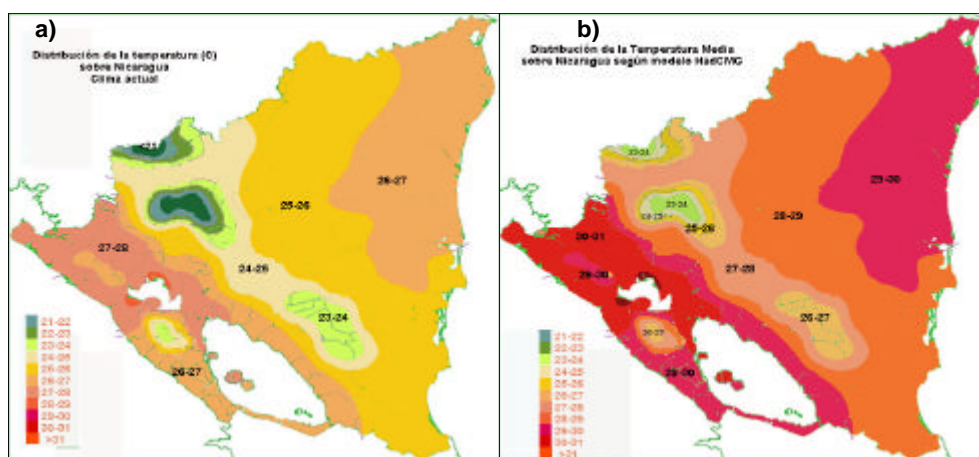
a. Temperatura

En el Mapa 4.1a se presenta la distribución espacial de la temperatura media anual en las condiciones del clima actual, según INETER. El Mapa 4.1b, muestra la simulación de la distribución espacial de la temperatura del aire en condiciones de un clima cambiado y bajo un escenario pesimista (IS-92a) utilizando el modelo HADCM2 para el año 2100.

En la vertiente del Caribe, en la zona que comprende la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN), la temperatura actual es de 26 - 27°C cambiando de acuerdo a la simulación realizada a 29 - 30°C, mientras que en el sector sur en la mayor parte de la Región Autónoma del Atlántico Sur (RAAS), ésta variaría desde 25 - 26°C hasta 28 - 29°C.

Sobre la vertiente del Pacífico, la modificación cuantitativa más importante se registraría en la parte noroeste de la Región, en particular sobre los municipios del norte de Chinandega y León, donde la temperatura media anual aumentaría aproximadamente desde 27 - 28°C hasta 30 - 31°C.

Mapa 4.1. a) Campo de la temperatura media anual para la climatología actual en °C. **b)** Campo de la temperatura media anual simulado para el año 2100 (escenario pesimista).



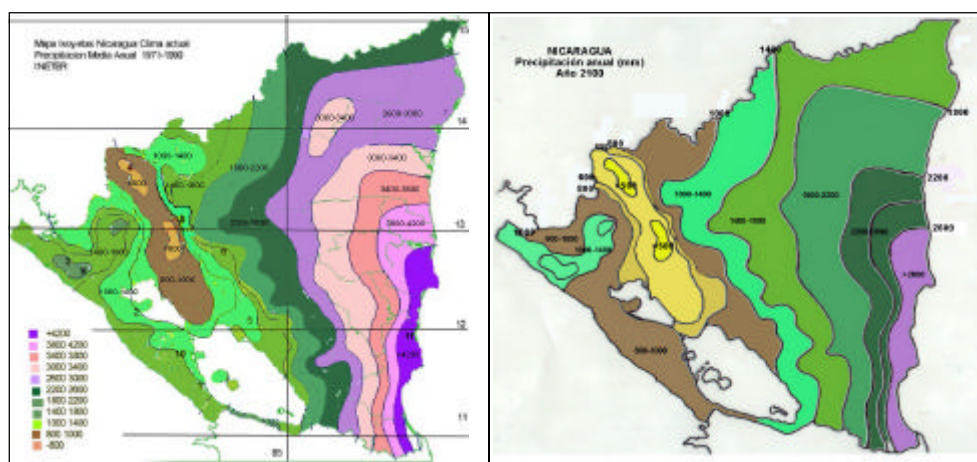
Los incrementos en la temperatura media anual producirían impactos importantes en los diferentes sectores productivos y actividades humanas, debido a que en gran medida influyen en la capacidad productiva de muchos cultivos, determinan el bienestar humano, la salud de la población, y podrían en alguna medida limitar la adaptación de la biota en el territorio nacional.

a. Precipitación

La distribución espacial actual y simulada del campo de la precipitación media anual en Nicaragua se presenta en el Mapa 4.2 a y b. Comparando la distribución actual de la precipitación media anual y la posible distribución para el año 2100 (escenario pesimista), se observa que en el país se produciría una reducción importante en los totales anuales. Para el año 2100 las reducciones son bastante similares para ambas vertientes. Sobre la vertiente del Caribe es de aproximadamente 35.7%, y en el Pacífico de 36.6%.

Los cambios más significativos se esperarían en regiones que actualmente son relativamente secas, como la región norte del territorio y la de los municipios del norte de Chinandega y León. Bajo condiciones de un clima cambiado, estas zonas recibirían anualmente menos de 500 mm, lo cual tendría repercusiones importantes en las actividades agrícolas y ganaderas. La mayor parte de la región del Pacífico Central y Sur, podría pasar de 1400-1800 mm/año a 800-1000 mm/año; aumentando consecuentemente el área de las zonas secas de Nicaragua. De tal forma que los municipios considerados actualmente como zonas secas, se tornarían más secos para el año 2100.

Mapa 4.2. a) Campo de la precipitación media anual para la climatología actual en mm. **b)** Campo de la precipitación media anual simulado para el año 2100 (escenario pesimista).



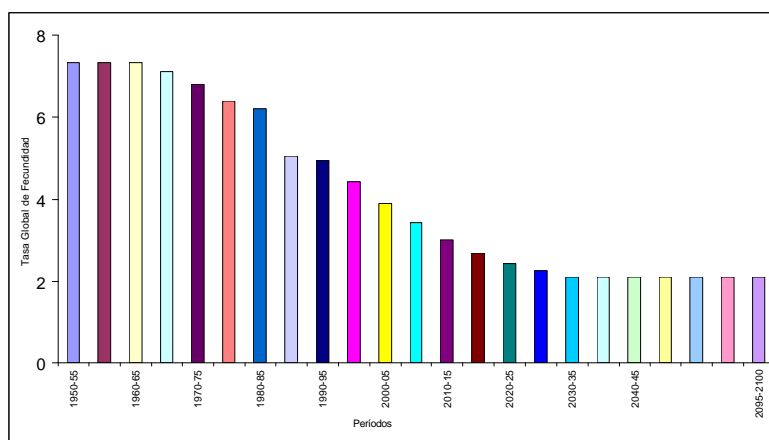
4.2.2. Escenarios socioeconómicos

Los escenarios socioeconómicos constituyen el segundo elemento indispensable para la realización de estudios de impacto del cambio climático en el ámbito nacional, ya que proporcionan la información necesaria sobre la sociedad nicaragüense del siglo 21, para prepararse ante los desafíos del cambio climático.

Los escenarios socioeconómicos fueron construidos analizando las siguientes variables: población, demanda energética, demanda de agua y de salud, y Producto Interno Bruto. Cabe mencionar que no se trató de realizar predicciones certeras, sino de estructurar escenarios que prevén tener un acercamiento plausible a las condiciones de desarrollo de nuestro país.

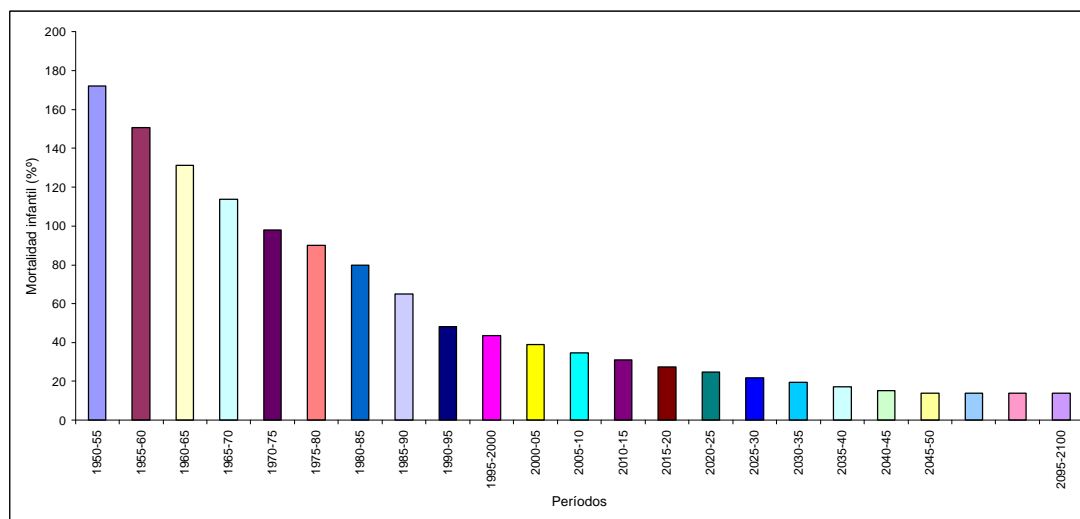
a. Población

Para la proyección de la población de Nicaragua se consideraron los resultados del censo realizado en 1995 y una revisión efectuada en 1998 sobre la base de los resultados de una encuesta nacional de demografía y salud, de los cuales se obtuvieron los factores fundamentales de la evolución demográfica (fecundidad, mortalidad, esperanza de vida y migraciones). Los resultados de las proyecciones de la tasa global de fecundidad se muestran en Fig. 4.1.

Figura 4.1. Evolución medida y proyectada de la tasa global de fecundidad 1950 — 2100.

La proyección de la tasa global de fecundidad a partir de 1990-95, muestra que irá descendiendo hasta el período 2030—2035 donde se estabilizaría hasta el final del período de la proyección, con un valor de reemplazo de 2.1.

Para proyectar la mortalidad infantil fue utilizada la información del Censo de Población de 1995 sobre hijos nacidos vivos e hijos sobrevivientes y a partir de este año se asumió una evolución por una función logística con un valor final de 13.8 en 2050 (Fig. 4.2), coherente con el que muestran otros países de la región como Honduras y Guatemala. Este valor se conservó para los años siguientes hasta el final de la proyección.

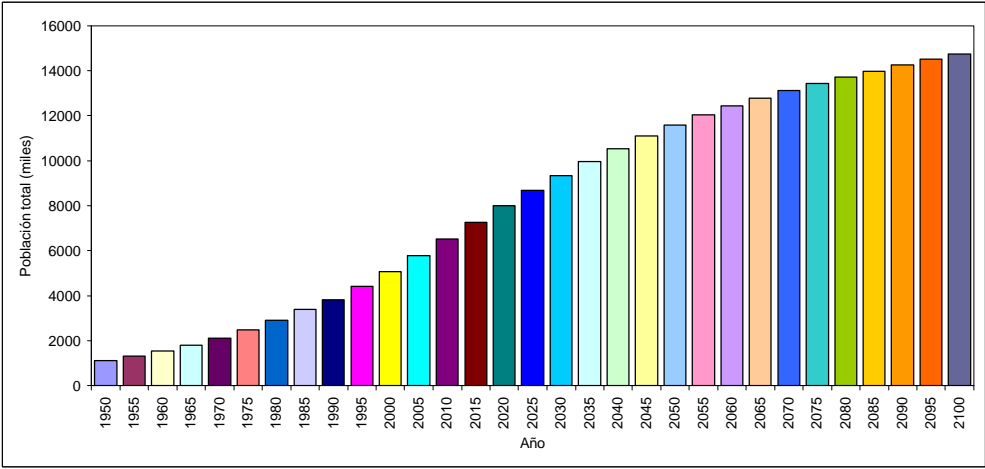
Figura 4.2. Evolución de la mortalidad infantil para el período 1950 - 2100.

Las tendencias de migración internacional de la población nicaragüense, principalmente a Costa Rica y Estados Unidos han creado la necesidad de revisar el flujo migratorio; el cual ha sido motivado principalmente por razones económicas.

En la proyección se asumieron flujos migratorios negativos de 70,000 personas por quinquenio para 1991—1995 y 1996—2000, reduciéndose a 20,000 en los dos quinquenios siguientes hasta el 2010, después de los cuales el flujo migratorio no fue proyectado por las dificultades que presenta este parámetro.

La proyección de la población total de Nicaragua (Fig. 4.3), se realizó sobre la base de la evolución demográfica antes descrita. De esta figura se deduce que la población podría aumentar de casi 5 millones para el año 2000 hasta 14.7 millones aproximadamente para el 2100.

Figura 4.3. Evolución de la población en Nicaragua, censada (1950—1995) y proyectada (2000—2100).



En el Cuadro 4.2 se muestra la tendencia de crecimiento de la población de Nicaragua desde 1950 hasta el año 2100. Este indica que la población ha crecido vertiginosamente en los últimos 50 años, aumentándose en 4.5 veces con respecto al año 1950; del año 2000 al 2050 la población puede duplicarse, es decir será 2.3 veces superior, mientras en el año 2100 los habitantes de Nicaragua serían 1.3 veces más que en el 2050.

Cuadro 4.2. Crecimiento de la población en Nicaragua.

Años	1950	2000	2050	2100
Población, miles	1133.6	5074.2	11600.1	14759.6
Crecimiento/veces	-	4.5	2.3	1.3

El acelerado crecimiento de la población implicará mayor presión sobre los recursos naturales del país, los cuales podrían verse afectados por los cambios climáticos. Especial atención merecen los recursos hídricos, donde las probabilidades de competencia podrían ser cada vez mayores entre el consumo humano, la irrigación y la producción de energía eléctrica. Además de la población total, variará en gran medida su estructura para tres períodos de proyección (2000, 2030 y 2100) en cuanto a la distribución de la población por grupos de edades, se presenta en la Figura 4.4.

Obsérvese que para el año 2000 (Fig. 4.4) la población nicaragüense de ambos sexos es predominantemente joven, ocupando la población menor de 20 años más del 50%; por el contrario para el año 2100 alcanzará no más del 25%, debido a su envejecimiento producto de la disminución de la fecundidad y el aumento de la esperanza de vida al nacer.

b. Producto Interno Bruto

La proyección del Producto Interno Bruto (PIB) y otros elementos económicos se muestra en Cuadro 4.3. Se observa que el PIB se incrementa en el transcurso del siglo XXI, de igual forma el PIB per cápita presenta un ritmo de crecimiento positivo, aunque menor, tendiendo a decrecer durante la segunda mitad de éste.

La participación del sector agrícola en el PIB decrece continuamente durante el período de proyección. Sin embargo, el valor agregado total sigue creciendo, por el aumento de las áreas cosechadas en algunos casos y, sobre todo, por el progreso tecnológico que trae consigo mejores rendimientos.

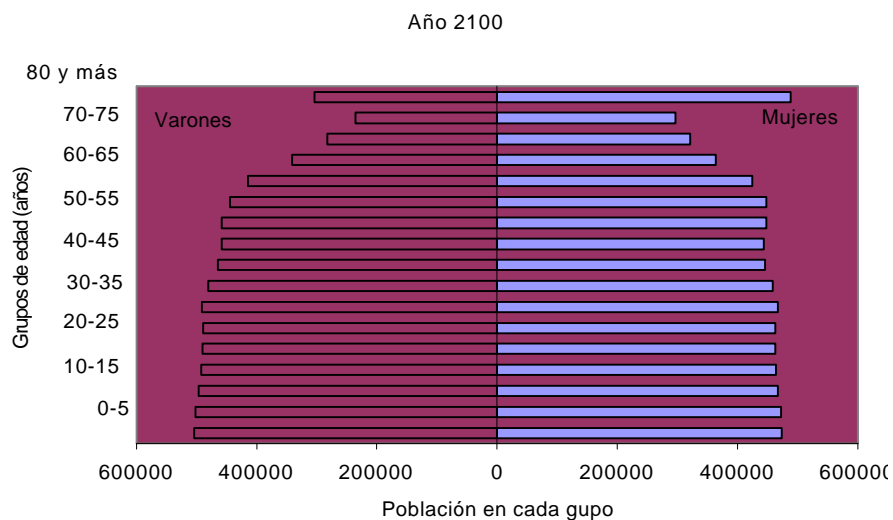
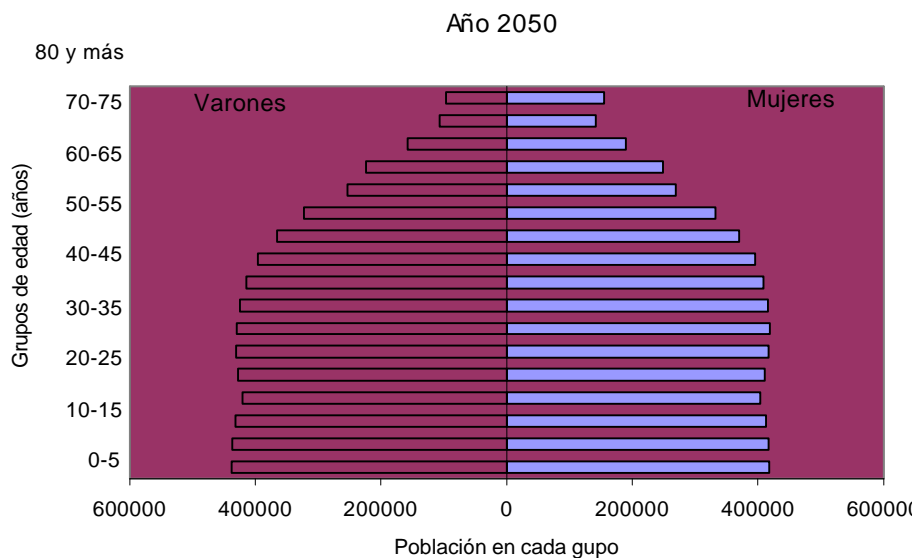
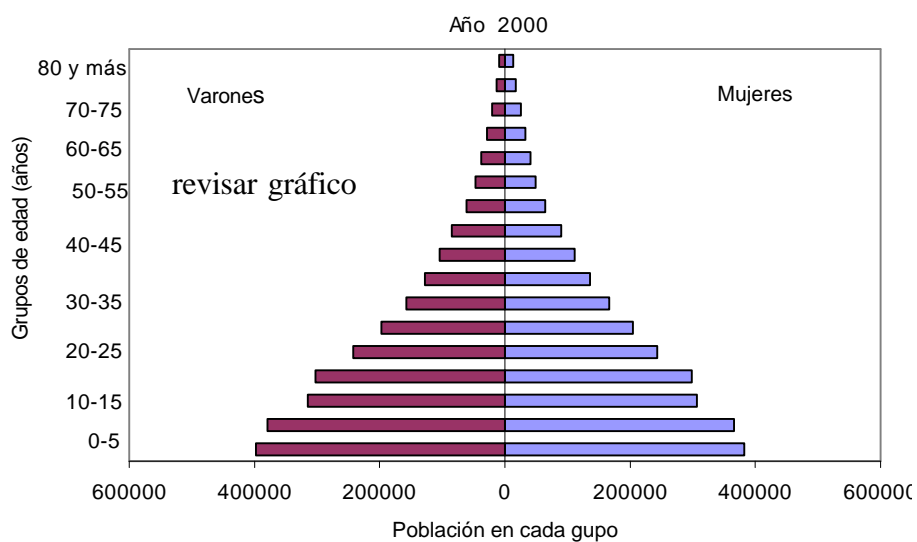
c. Demanda de agua

El Cuadro 4.4, presenta la dotación de agua a los usuarios abastecidos por conexiones domiciliarias y la dotación a usuarios de escasos recursos, los cuales son abastecidos por puestos públicos.

Cuadro 4.3. Proyección del PIB.

Año	PIB (Mill. CS 1980)	PIB (Mill. US\$1980)	Crecimiento anual medio del período	Población	PIB per capita (Miles de C\$ 1980)	Valor agregado Sector Agrícola (Mill. C\$ 1980)	Participación Agricultura en el PIB
1990	18124.4	1812.44		3827.4	4.74	2887.1	15.9%
1995	19518.2	1951.82	1.5%	4425.7	4.41	3205.7	16.4%
2000	24666.4	2466.64	5.3%	5074.2	4.86	5059.2	20.5%
2010	39561.9	3956.19	6.0%	6529.4	6.06	7990.4	20.2%
2030	105947.0	10594.7	8.4%	9353.2	11.33	12563	11.9%
2050	278440.8	27844.08	8.1%	11600.1	24.00	14062.2	5.1%
2070	421327.2	42132.72	2.6%	13119.8	32.11	14732.3	3.5%
2100	556881.6	55688.16	1.1%	14759.6	37.73	15280.6	2.7%

Figura 4.4. Distribución de la población por grupos de edades para los años 2000, 2050 y 2100.



Cuadro 4.4. Dotaciones de agua potable (litros/habitantes/día).

Año	Urbano		Rural
	Conexión domiciliar	Puestos públicos	
2010	210	38	68
2030	200	38	82
2050	190	38	90
2070	180	38	100

Las proyecciones muestran que la dotación de agua potable en el medio urbano disminuye con el tiempo, mientras que en el medio rural aumenta. Se considera que para estos horizontes de tiempo el uso del agua será más racional, debido a la instalación de micro medidores por parte de las Empresas Operadoras del Servicio. Referente a la población rural sería causado por el incremento en el nivel de vida y cambios de costumbres de la población.

En la actualidad el porcentaje de la población abastecida por puestos públicos es relativamente alto, esperándose que disminuya en las próximas décadas como consecuencia de la estabilización económica del país.

Las pérdidas de agua en los sistemas de distribución del país alcanzan en la actualidad cerca del 45% del agua producida, esperándose que para los años 2030—2050 éstas disminuyan hasta un 15%, por efectos del mejoramiento en los sistemas administrativos.

d. Demanda de energía

Para realizar las proyecciones de consumo energético y eléctrico en el país, se realizó un análisis de regresión lineal en función de la evolución del PIB per cápita, utilizando para tales fines datos de consumos energéticos de los países latinoamericanos e inventarios nacionales de emisiones de gases de efecto invernadero de algunos países europeos. Mediante la aplicación de las ecuaciones generadas a los datos de proyecciones del PIB y de población, se proyectó la demanda energética del país para el siglo XXI, los cuales se presentan en el Cuadro 4.5.

Cuadro 4.5. Proyecciones del consumo energético en Nicaragua para el siglo XXI.

Año	Población (miles)	PIB (Mill. C\$ 1980)	PIB (Mill.US\$)	PIB per cap. (US\$ /hab.)	Consumo de energía (PJ)	Consumo (PJ) per cap (TJ/hab.)	Consumo electricidad per cap (TJ/hab.)
1990	3827	18142	1814.2	474	68.9	0.018	0.00113
2000	5074	24666	2466.6	486	91.2	0.018	0.00120
2010	6529	39561	3956.1	606	122.1	0.019	0.00133
2030	9353	105947	10594.7	1133	204.9	0.022	0.00193
2050	11600	278441	27844.1	2400	343.8	0.030	0.00336
2070	13120	420000	42000.0	3201	453.0	0.035	0.00427
2100	14760	556881	55688.1	3773	561.1	0.038	0.00491

e. Demanda de servicios de salud

El tema de la demanda de los servicios de salud fue abordado mediante dos tipos de proyecciones cuya coherencia mutua no fue posible verificar; se realizó una proyección de la demanda de atención curativa ambulatoria (consultas de primer nivel), las cuales tendrán un costo variable pero fue difícil estimar su evolución; en búsqueda de soluciones a este problema se realizaron proyecciones por gastos generales de salud, los que están plasmados en el Cuadro 4.6.

Cuadro 4.6. Proyección de los gastos en salud de Nicaragua para el siglo XXI.

Años	Gasto en Salud (Mill. C\$ 1980)	PIB (Mill. C\$ 1980)	Parte del PIB gastado en salud	Población (en miles)	Gasto en salud per cápita (C\$ 1980)
1995	2538.41	19518.2	13.0%	4425.7	574
2000	3480.59	24666.4	14.1%	5074.2	686
2010	5364.96	39561.9	13.6%	6529.4	822
2030	9133.69	105947.0	8.6%	9353.2	977
2050	12902.42	278440.8	4.6%	11600.1	1112
2070	16671.16	421327.2	4.0%	13119.8	1271
2100	22224.26	556881.6	4.0%	14759.6	1506

Las proyecciones demuestran que la participación de los gastos en salud en el PIB disminuirán de 14.1% en el 2000 hasta el 4% para el 2100; mientras que el gasto per cápita aumentará desde C\$ 686 hasta C\$1506 Córdobas.

4.3. Impacto del cambio climático en el sector hidroenergético

Proyecto hidroeléctrico El Carmen

El efecto del cambio climático en el sector energético se estimó utilizando como patrón el proyecto hidroeléctrico El Carmen, ubicado en la cuenca del río Grande de Matagalpa. Esta ocupa un área de 18,450 km² hasta su desembocadura en el Mar Caribe.

Según el Plan Maestro de Energía Eléctrica (INE, 1980), el potencial hidroeléctrico del país que puede ser comercialmente explotable es del orden de los 2000 MW. Los datos obtenidos del estudio de la cuenca El Carmen podrían ser transferidos a otros proyectos debido a que ésta se ubica en la Región Central del País donde se localiza el mayor potencial de este tipo de energía eléctrica. Para la simulación de los escenarios climáticos futuros y la respuesta de la cuenca a los mismos se utilizó el modelo hidrológico CLIRUM3, el cual fue calibrado con los datos de la estación hidrométrica de Paiwas por su ubicación cercana a la sub-cuenca del proyecto.

a. Generación de series de caudales y de escorrentía para diferentes escenarios

A partir de las proyecciones de series de caudales y de lluvia en El Carmen y demás parámetros climáticos que intervienen en la evapotranspiración potencial, se generaron las series para los diferentes escenarios y horizontes de tiempo. El Cuadro 4.7 muestra las variaciones de la precipitación y de la escorrentía media anual para cinco horizontes de tiempo.

Cuadro 4.7. Variaciones de la precipitación y la escorrentía media anual en %.

Horizonte de tiempo	Precipitación media anual, %				Escorrentía media anual, %	
	Optimista	Moderado	Pesimista	Optimista	Moderado	Pesimista
2010	-7.79	-7.80	-8.36	-15.01	-15.04	-16.05
2030	-12.24	-12.38	-14.33	-22.95	-23.17	-26.52
2050	-16.07	-16.71	-20.78	-29.41	-30.57	-36.83
2070	-18.73	-20.37	-27.07	-33.65	-36.20	-45.87
2100	-20.81	-25.03	-36.23	-36.88	-43.27	-57.24

El valor porcentual de las precipitaciones para el horizonte de tiempo 2010 presenta variaciones prácticamente iguales en los escenarios optimista y moderado (-7.80%), con un ligero incremento para el pesimista (-8.36%); mientras que para el año 2100 las variaciones serían superiores, con valores de -20.81, -25.03 y -36.23% para los tres escenarios respectivamente.

La escorrentía media anual en los diferentes escenarios del horizonte de tiempo 2010 presenta variaciones del orden del -15%, alcanzando valores de -36.88, -43.27 y -57.24% para los escenarios optimista, moderado y pesimista respectivamente en el año 2100. De lo anterior se deduce que la sub-cuenca El Carmen no sólo disminuiría su caudal por menor pluviosidad, sino que su rendimiento se reduciría aportando menores caudales para una misma cantidad de lluvia, lo que impactaría directamente la producción energética (Cuadro 4.8).

Esta situación desde el punto de vista del uso del recurso hídrico para generación de energía es negativa, ya que incentiva la competencia entre los diferentes usuarios, reduciendo la posibilidad del uso del recurso hídrico para energía. La disminución de la escorrentía debido al cambio climático creará situaciones de competencia, que en la actualidad no existen en la cuenca de El Carmen.

Cuadro 4.8. Producción de energía total y variación de la producción (V.P.) en % respecto al escenario base 1961-1990 (GWH) del Proyecto El Carmen.

Horizonte de tiempo	Optimista		Moderado		Pesimista	
		V.P.%		V.P.%		V.P.%
ESC. BASE	412.92	V.P.%	412.92	V.P.%	412.92	V.P.%
2010	363.48	-12.0	363.36	-12.0	359.57	-12.9
2030	332.50	-19.5	331.57	-19.7	317.09	-23.2
2050	304.65	-26.2	298.48	-27.7	271.25	-34.3
2070	285.80	-30.8	274.15	-33.6	225.13	-45.5
2100	270.97	-34.4	238.91	-42.1	165.18	-60.0

b. Variación de la generación bajo condiciones de un clima cambiado

Se evalúa la energía producida por una planta hidroeléctrica de 80 MW en el sitio El Carmen, en las condiciones climáticas actuales y su variación bajo diferentes escenarios climáticos.

En las condiciones climáticas actuales la producción media anual del proyecto hidroeléctrico El Carmen es aproximadamente de 400 GWH, lo cual se corresponde con un factor de planta de 0.57. Las variaciones (Cuadro 4.8) en la producción de energía debido a los cambios climáticos para el horizonte de tiempo 2010 son bastante similares y del orden del 12% (con valores entre 363.48 y 359.57 GWH) en los tres escenarios. Por el contrario para el año 2100 se advierten reducciones drásticas en la producción de energía, desde -34% (270.97 GWH) hasta -60% (165.18 GWH) para los escenarios optimista y pesimista respectivamente.

c. Impacto económico en la sociedad nicaragüense

Los efectos del cambio climático incidirían en la viabilidad de los proyectos hidroeléctricos creando condiciones adversas para su desarrollo y restándoles competitividad en relación con las fuentes térmicas.

Se realizó la evaluación económica del Proyecto utilizando para esto la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y la relación beneficio—costo (B/C), siendo los resultados para el período base los siguientes: TIR:=15.4%, VAN= -5.54%, B/C=0.0962. Este proyecto en las condiciones actuales se encuentra en el límite de rentabilidad mínima, para ser atractivo a los inversionistas, reduciéndose ésta en el transcurso de los horizontes y escenarios futuros estudiados, como se muestra en el Cuadro 4.9 donde se presentan los índices económicos para los diferentes escenarios.

Cuadro 4.9. Resumen de los índices económicos (tasa de descuento 16%).

Horizonte de tiempo	Optimista		Moderado		Pesimista,	
	TIR	VAN	TIR	VAN	TIR	VAN
Base	15.44%	-5.54	15.44%	-5.54	15.44%	-5.54
2010	13.71%	-22.5	13.70%	-22.54	13.57%	-23.84
2030	12.59%	-33.13	12.56%	-33.45	12.02%	-38.42
2050	11.56%	-42.69	11.33%	-44.80	10.30%	-54.15
2070	10.85%	-49.15	10.41%	-53.15	8.48%	-69.97
2100	10.29%	-54.24	9.03%	-65.24	5.91%	-90.54

Este proyecto deja de ser atractivo para inversionistas privados a partir del período 2010 para todos los escenarios; dejando de ser económicamente viable para ser desarrollado por el Estado a principios del año 2050 ya que tendría una tasa interna de retorno en los tres escenarios menor del 12%. En el caso del escenario pesimista, el proyecto dejaría de ser atractivo para el Estado a partir del año 2030 y para el horizonte del año 2100 la tasa de descuento no alcanza ni la de los proyectos sociales (6%).

Bajo las condiciones del año 2010 y para cualquiera de los tres escenarios, la probabilidad de que un inversionista privado desarrolle este proyecto hidroeléctrico es mínima. Si esta situación se generalizara a todos los sitios potenciales de desarrollo hidroeléctrico, podría ser aun más crítica, si se considera que El Carmen es uno de los proyectos más atractivos.

La demanda de energía eléctrica proyectada para el año 2100 asciende a 20,131 GWH. El aumento de los costos a la sociedad nicaragüense de tener una distribución equitativa por fuentes, le daría a los recursos hidroeléctricos una participación del 28%, sin embargo mantener este balance bajo condiciones climáticas cambiadas significaría una variación de costos muy amplia (Cuadro 4.10).

En el escenario optimista el incremento de costo variaría de 5.3 (13.6%) en el 2010 a US\$169 (52.2%) millones de dólares de los Estados Unidos de Norteamérica en el año 2100. En el escenario moderado las cifras iniciales son semejantes al del optimista, mientras en el 2100 el incremento del costo unitario es de US\$234 millones (72.8%) En el pesimista, las cifras en el año 2010 son parecidas, sin embargo en el horizonte 2100, el incremento del costo unitario varía el 150% y el costo total a US\$482 millones de dólares.

Cuadro 4.10. Incremento de los costos de energía eléctrica.

Horizonte de tiempo	Costo US\$/Kwh	Incremento US\$/Kwh	Incremento Porcentual	Aumento Anual(10 ⁶ US\$) ¹⁴
ESCENARIO OPTIMISTA				
Base	0.0571			
2010	0.0648	0.0078	13.6%	5.24
2050	0.0774	0.0203	35.5%	61.50
2100	0.0870	0.0299	52.4%	168.54
ESCENARIO MODERADO				
2010	0.0649	0.0078	13.6%	5.26
2050	0.0790	0.0219	38.3%	66.34
2100	0.0987	0.0416	72.8%	234.34
ESCENARIO PESIMISTA				
2010	0.0655	0.0085	14.8%	5.72
2050	0.0869	0.0298	52.2%	90.37
2100	0.1427	0.0856	150.0%	482.52

¹⁴ Dólares de los Estados Unidos de Norteamérica referidos a 1999.

4.4. Impactos del cambio climático en los ecosistemas forestales

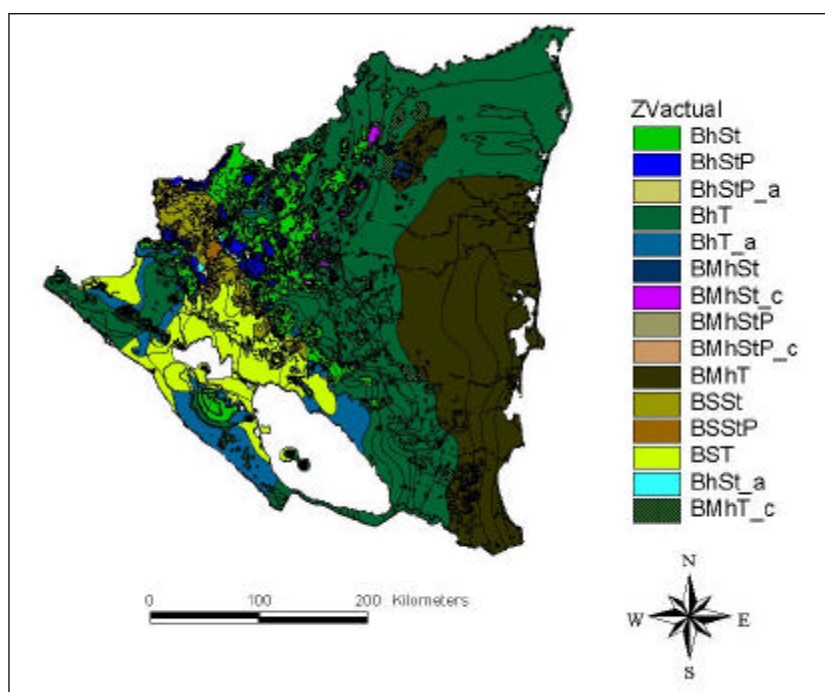
Análisis de la sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge en Nicaragua en función del cambio climático

El análisis de sensibilidad de las zonas de vida de Holdridge¹⁵ en Nicaragua en función del cambio climático, fue realizado para cada uno de los horizontes de tiempo y escenarios climáticos mencionados (pesimista, moderado y optimista). Se elaboraron mapas de distribución de las zonas de vida de Holdridge y el área de estudio fue dividido en dos grandes regiones: Atlántica y Pacífica.

Los mapas de zonas de vida fueron elaborados en el Sistema de Información Geográfica ArcView, el cual permite realizar variaciones en las temperaturas y las precipitaciones, utilizando para tales fines el diagrama de Holdridge y los distintos escenarios climáticos. Se definieron un total de 15 zonas de vida las cuales se presentan en el Mapa 4.3.

En la actualidad (Cuadro 4.11) el 44.43% del territorio nacional pertenece a la zona de vida “Bosques Muy húmedos Tropicales, al Bosque húmedo Tropical le corresponde el 39.33%, al Bosque húmedo Subtropical— 3.84%; el 5.53% está ocupado por Bosque Seco Tropical y el 2.70% por Bosque húmedo Tropical con transición a seco; la zona de vida Bosque Muy húmedo Tropical con transición a húmedo ocupa 1.61%; el resto de las zonas de vida abarcan un total de 2.55%.

Mapa 4.3. Zonas de vida de Holdridge bajo condiciones actuales.



¹⁵ En los mapas, el nombre de las zonas de vida se presenta de forma abreviada, por ejemplo, BhSt—Bosque húmedo Subtropical; mientras que las letras a,b,c significan transición a seco, muy seco y húmedo respectivamente. Zv—zonas de vida.

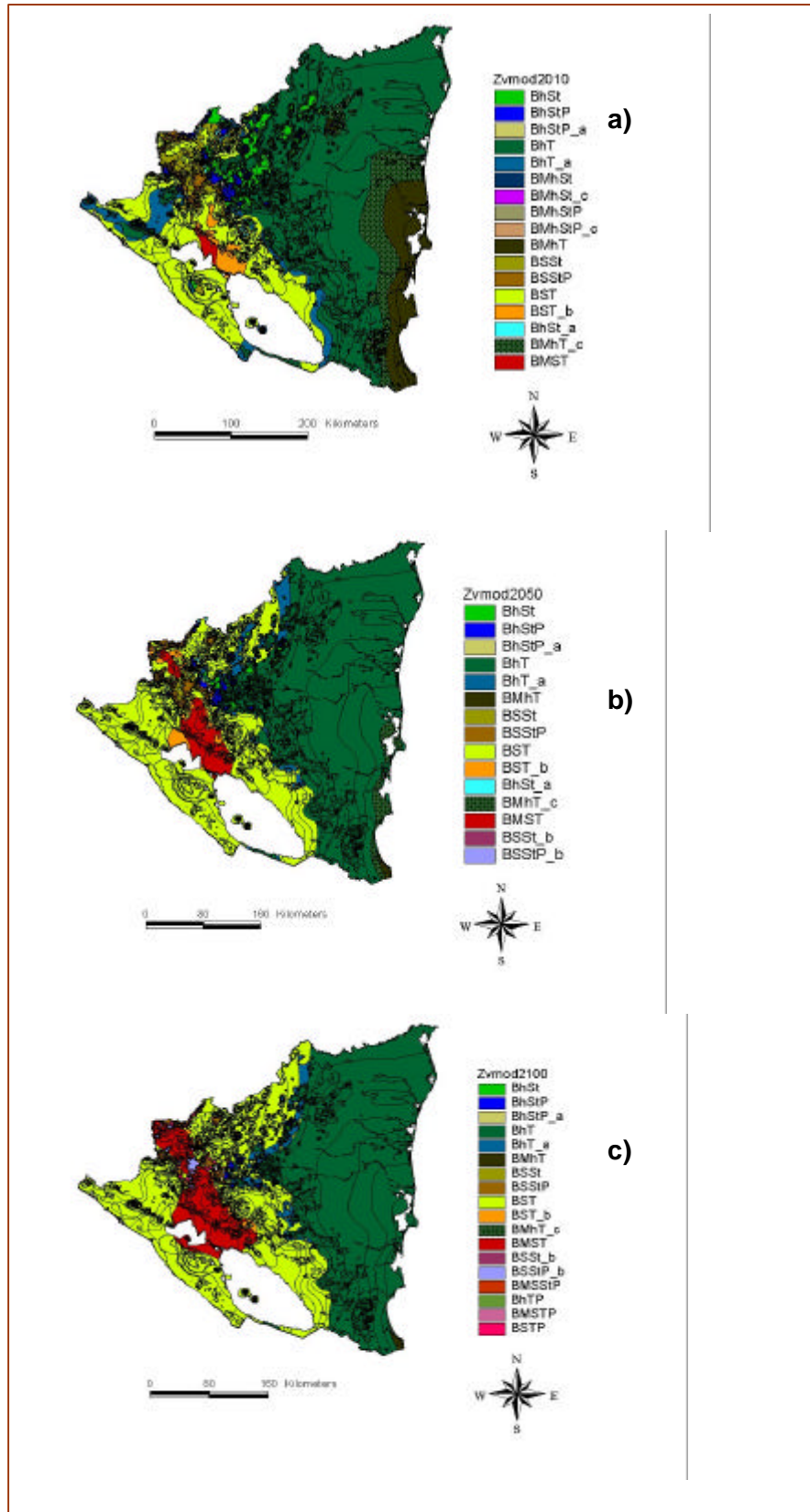
Para el escenario moderado y el horizonte de tiempo 2010 (Mapa 4.4A) se presentan dos nuevas zonas de vida: el Bosque Seco Tropical_b y el Bosque Muy Seco Tropical. Bajo un escenario pesimista desaparecerían las zonas de vida “Bosques Muy húmedos Subtropicales_c y Bosques Muy húmedos Subtropicales Premontanos. Bajo un escenario moderado del año 2050 (Mapa 4.4B), habrían variaciones en el número y tipos de zonas de vida, registrándose incrementos en la zona de vida BhT de hasta un 162%, debido a la reducción de las zonas de vida BMhT y BhSt. Ante un escenario pesimista se espera que se incremente la zona de vida BMST.

De acuerdo a las simulaciones del escenario moderado y el año 2100 (Mapa 4.4C), se espera que el 67.79% del territorio nacional estaría ocupado por BMhT, BhT y BSt y en el 30.79% estarían presentes las zonas de vida BST, BMST y BSS respectivamente. Bajo un escenario pesimista para el horizonte 2100, es probable que desaparezcan las zonas de vida BMhSt, BMhSt_c, BMhStP, BMhStP_c, BhSt_a y BMhT_c. El análisis de los cambios que experimentarían las zonas de vida ante los tres escenarios hasta el año 2100 muestra, que aproximadamente un 72% del territorio nacional experimentaría un cambio en sus zonas de vida y solo el restante 28% no sufriría ningún cambio.

Cuadro 4.11. Area que ocupan las zonas de vida de Holdridge para distintos horizontes de tiempo y bajo un escenario moderado (en Km.² y porcentaje).

Zonas de Vida	Actual		2010		2050		2100	
	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²
Bosque húmedo Subtropical	3.84	4,992	0.63	819	0.12	156	0.01	13
Bosque húmedo Subtropical_a	0.10	130	0.09	117	0.08	104		
Bosque húmedo Subtropical Premontano	0.30	390	0.22	286	0.16	208	0.02	26
Bosque húmedo Subtropical Premontano_a	0.06	78	0.08	104	0.05	65	0.02	26
Bosque húmedo Tropical	44.43	57,759	61.48	79,924	72.27	93,951	67.56	87,828
Bosque húmedo Tropical_a	2.70	3,510	3.92	5,096	1.70	2,210	1.41	1,833
Bosque húmedo Tropical Premontano							0.05	65
Bosque Muy húmedo Subtropical	0.71	923	0.06	78				
Bosque Muy húmedo Subtropical_c	0.29	377	0.01	13				
Bosque Muy húmedo Subtropical Premontano	0.02	26	0.008	1				
Bosque Muy húmedo Subtropical Premontano_c	0.008	1	0.01	13				
Bosque Muy húmedo Tropical	39.33	51,129	7.77	10,101	0.15	195	0.15	195
Bosque Muy húmedo Tropical_c	1.61	2,093	12.98	16,874	2.26	2,938		1
Bosque Muy Seco Subtropical Premontano							0.008	1
Bosque Muy Seco Tropical			0.06	78	1.91	2,483	3.84	4,992
Bosque Muy Seco Tropical Premontano							0.09	117
Bosque Seco Subtropical	0.96	1,248	0.61	793	0.35	455	0.01	13
Bosque Seco Subtropical_b					0.03	39	0.01	13
Bosque Seco Subtropical Premontano	0.11	143	0.18	234	0.27	351	0.05	65
Bosque Seco Subtropical Premontano_b					0.01	13	0.02	26
Bosque Seco Tropical	5.53	7,189	10.63	13,819	20.30	26,390	26.35	34,255
Bosque Seco Tropical_b			1.27	1,651	0.36	468	0.18	234
Bosque Seco Tropical Premontano							0.24	312

Mapa 4.4. Distribución espacial de las zonas de vida de Holdridge para un escenario de cambio climático moderado y tres horizontes de tiempo :a)2010, b)2050 y c)2100).



4.5. Impacto del cambio climático en el sector salud humana

El Cambio climático puede tener impactos en la salud humana por muchas razones, relacionados directamente con el aumento de la temperatura del aire lo que incrementaría el área de incidencia de la malaria (IPCC, 1996), o indirectamente por modificación de la dieta y cambios en la incidencia de enfermedades. La malaria es una de las enfermedades tropicales más comunes, registrándose anualmente de 300 a 500 millones de casos en diferentes partes del mundo.

En Nicaragua, se decidió enfocar el estudio sobre esta enfermedad, por varios motivos:

- † Tiene incidencia alta en la población nicaragüense, y repercute en altos costos en el sistema nacional de salud;
- † Se tienen registros históricos continuos sobre su incidencia y sobre las acciones tomadas para combatir la enfermedad;
- † El vector tiene mucha incidencia en el área rural y las poblaciones son menos influenciadas por los programas de control, por lo que las series de datos son más “limpias” que en el caso del dengue.

El cambio climático puede incidir en diferentes vías sobre el ciclo de la enfermedad, por ejemplo:

- † La temperatura tiene efectos directos tanto sobre el ciclo del vector como sobre el ciclo del parásito que provoca la enfermedad. Entre más alta la temperatura, más rápido el ciclo. Además, se sabe que el área de presencia del vector está determinado en buena parte por la temperatura, ya que el vector no sobrevive a temperaturas muy bajas.
- † La precipitación tiene su efecto también: las larvas de los mosquitos requieren de agua líquida para crecer, ya que la malaria es una enfermedad de zonas húmedas.

El desarrollo de la enfermedad está relacionado, además, con muchos factores ajenos al ambiente, como las migraciones humanas (que transportan el parásito hacia otras zonas donde puede estar el vector), los programas de tratamiento de enfermos (que disminuyen la presencia del parásito disponible para futuras infecciones), o los rociados de casas para evitar la infección. El ciclo del parásito tiene que pasar en forma obligada por el hombre y el mosquito, por lo que la densidad de población es otro elemento que incide en la enfermedad.

El área de este estudio abarca tres departamentos con diferentes condiciones climáticas y localizados en cada una de las tres macroregiones en que está dividido el territorio nacional: Chinandega en la región del Pacífico, Jinotega en la región montañosa Central y la RAAN en la Costa Atlántica. En calidad de información básica se utilizaron los números de casos de malaria registrados mensualmente por los centros de salud en cada municipio durante el período 1968 – 1998. Los promedios mensuales de precipitación y temperatura para el mismo período fueron proveídos por INETER.

Para eliminar el efecto causado por la diferencia en la cantidad de habitantes de los municipios considerados, se calculó el índice de casos de malaria (I_m , porcentaje de personas afectadas):

$$I_m = \text{Número de casos de malaria} / \text{número de personas} \quad [1]$$

Para formalizar la relación entre I_m y la temperatura, se probaron varios modelos no lineales. El mejor ajuste se obtuvo con el siguiente modelo:

$$I_m = e^{a(T-b)}, \text{ donde} \quad [2]$$

I_m = Índice de casos de malaria (% de personas afectadas)

T = Temperatura promedio anual en grados Celcius ($^{\circ}\text{C}$)

a y b son parámetros a estimar.

La relación entre I_m y la precipitación puede ser cuantificada con el modelo de la distribución gaussiana:

$$I_m = a + b \left[1 - \exp\left(-\frac{(P-p_0)^2}{b^2}\right) \right] \quad [3]$$

Donde:

I_m = Índice de casos de malaria (% de personas afectadas)

P = Precipitación anual (mm)

a , p_0 y b son parámetros a estimar.

Una vez establecidos los parámetros de estas relaciones, se simuló el efecto que podría tener el Cambio Climático, introduciendo en estas relaciones los valores de temperatura y precipitación proyectados en los distintos escenarios. Se consideró una población estable, por lo que no se consideró el efecto del aumento de la población sobre la epidemia.

a. Resultados

Los datos obtenidos a nivel de municipios para los tres departamentos indicados, muestran la variabilidad del número de casos de malaria registrados, en función de los habitantes de cada municipio. El índice de malaria (I_m) para el departamento de Chinandega varía entre 0.004 en el municipio de San Pedro del Norte y 0.063 en Puerto Morazán, que significa que actualmente entre 0.4 y 6.3% de la población de esos municipios es anualmente afectada por malaria. En Jinotega el porcentaje de la población afectada por malaria es menor respecto a la de Chinandega, con porcentajes entre 0.2% en Yalí y 2.1% en Wiwilí. En la RAAN los porcentajes oscilan entre 0.9% en Puerto Cabezas hasta 2.5% en Rosita.

El índice de casos de malaria aumenta exponencialmente con el aumento de la temperatura. Esto indica que un pequeño aumento en la temperatura tiene un efecto importante en el aumento del índice de malaria. Oaks y otros (1991), indican que la temperatura mínima para que inicie el ciclo del vector de la malaria es de 16°C y el rango óptimo es entre 20 y 30°C ; lo cual se confirma en el presente estudio.

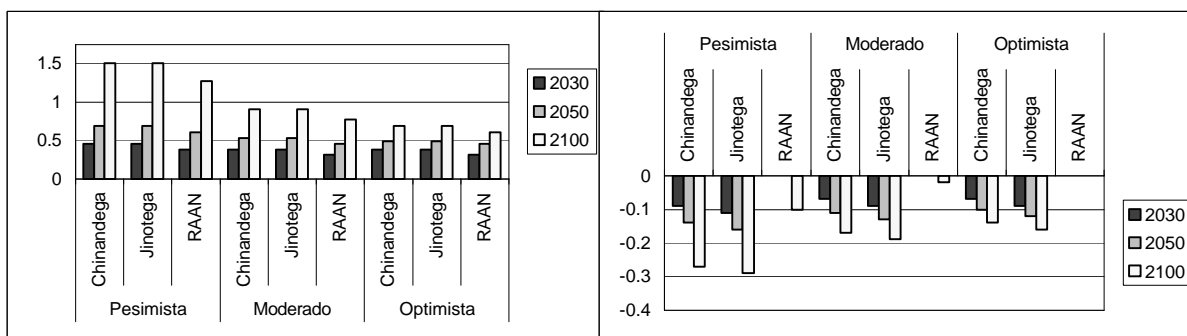
En el caso de la precipitación la situación es diferente. Aparentemente existe un nivel máximo en el índice de casos de malaria para promedios anuales de precipitación de 2200 mm. Esto indica que la disminución de la precipitación puede causar o un aumento o una disminución en la probabilidad de casos de malaria, dependiendo del nivel inicial de la precipitación y de la magnitud de la disminución.

Las relaciones encontradas explican una pequeña parte de la variabilidad observada en la incidencia de la enfermedad. Las causas de esta dispersión pueden buscarse en la calidad misma de los registros (datos no verificados, resultantes de agregación de muchos datos, con probables errores acumulados; la intensidad del seguimiento de la enfermedad probablemente varió con el tiempo, así como la intensidad de los esfuerzos de control; la movilidad de la población es muy distinta según los municipios) así como en la realidad de la relación que se busca.

b. Impacto del cambio climático

Los escenarios del aumento de la temperatura producen un incremento de entre 38 y 150% en el índice de malaria, dependiendo del escenario y región (figura 4.5.a). El aumento acentuado es debido a la relación exponencial entre la temperatura y el I_m .

Figura 4.5. a) Impacto del aumento de la temperatura y **b)** de la disminución de la precipitación en el índice de malaria (I_m) bajo tres escenarios climáticos y diferentes horizontes de tiempo. Los datos indican cambios con relación a la situación de la línea base (1968-1998).

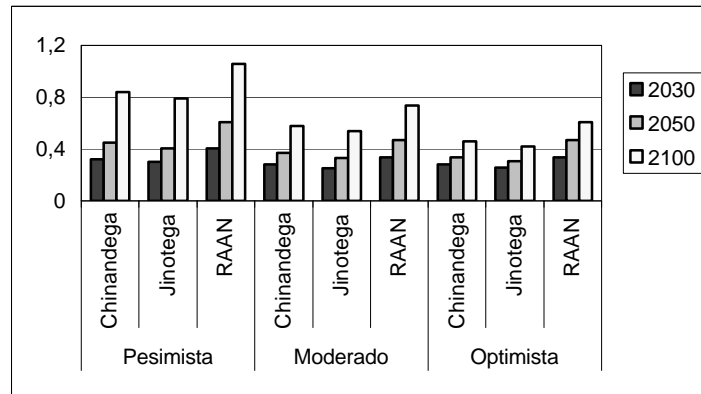


Los escenarios del impacto de la disminución de la precipitación indican un menor impacto en términos de cambios en el I_m . Generalmente se espera una disminución de 10 hasta 25% en I_m , pero en algunas regiones, como por ejemplo en la RAAN, no hay mucha diferencia entre los escenarios y la línea base (Figura 4.5b).

Para determinar el impacto global del Cambio climático en el índice de malaria, se supuso que los efectos relativos de la temperatura y de la precipitación son multiplicativos. Por ejemplo, un aumento del I_m por la temperatura de 30% (factor 1.30) y una disminución del I_m por la precipitación de 10% (factor 0.9) producen un aumento global de 17% (factor $1.17 = 1.3 \times 0.9$). Estos escenarios muestran un aumento en la I_m (Figura 4.6).

Los escenarios del impacto del cambio climático indican que valores máximos del I_m pueden aumentar de su nivel actual de 0.02-0.06 (de 2 a 6% de la población afectada) a un nivel de 0.03-0.09 (de 3 a 9% de la población afectada) en 2030, a un nivel de 0.03-0.10 (de 3 a 10% de la población afectada) en 2050, y a un nivel de 0.05-0.15 (de 5 a 15% de la población afectada) en 2100.

Figura 4.6. Impacto global (aumento de la temperatura y disminución de la precipitación) en el índice de malaria (I_m) bajo tres escenarios climáticos y diferentes horizontes de tiempo. Los datos indican cambios con relación a la situación de la línea base (1968-1998).



A pesar de la proyección de reducción del campo medio de la precipitación, estos resultados preliminares muestran un incremento muy significativo de la incidencia de la malaria, el cual estaría relacionado con el crecimiento demográfico proyectado para el siglo XXI, lo que podría agudizar aún más esta situación.

Evidentemente, la proyección de incremento de la incidencia de malaria repercutirá en costos para el estado nicaragüense. Estos costos estarían relacionados con el costo directo del tratamiento de los enfermos adicionales y con el costo del tiempo de subsidio de los trabajadores enfermos, lo cual afectaría la economía global del país.