

***MEMORIAS DEL
“VII CONGRESO DE LA RED
LATINOAMERICANA DE CIENCIAS
AMBIENTALES”***

COMISIÓN CIENTÍFICA DE CAMBIO CLIMÁTICO

ISBN: 978-9968-641-26-5

CONTENIDO

CC.1.O. Análisis bioclimático como fundamento para el diseño de vivienda en la Zona Centro de San Luis Potosí, México	215
RESUMEN	216
ABSTRACT	216
INTRODUCCION	217
METODOS	218
Delimitación del área de estudio y meteorología	218
Ecuaciones de Nicol-Humphreys	219
RESULTADOS	223
DISCUSION DE RESULTADOS	225
CONCLUSIONES	225
BIBLIOGRAFIA	226
CC.2.O. Tizón temprano (<i>Alternaria solani</i> Sor.) de la papa bajo condiciones de cambio climático en Ciego de Ávila, Cuba	228
RESUMEN	228
ABSTRACT	229
INTRODUCCION	229
MATERIALES Y METODOS	231
RESULTADOS Y DISCUSION	233
CONCLUSIONES	238
BIBLIOGRAFIA	238
CC.3.O. Tendencias hacia condiciones hidrológicas más secas en Centroamérica (1982-2005)	241
RESUMEN	241
INTRODUCCION	242
FUENTES DE DATOS	242
RESULTADOS	243
CONCLUSIONES	245
BIBLIOGRAFIA	246
CC.4.O. Restauración Ecológica del sitio Ramsar N° 878 (Reserva Nacional El Yali, litoral Chile central) afectado por el tsunami local de 2010: efectos del cambio climático y sensibilización de la comunidad	247
INTRODUCCION	247
METODOLOGIA	250
<i>Memorias VII Congreso de la Red Latinoamericana de Ciencias Ambientales</i>	209

RESULTADOS Y DISCUSION	252
CONCLUSIONES	257
AGRADECIMIENTOS.....	258
BIBLIOGRAFIA.....	258
CC.5.O. Sostenibilidad de la obtención del cacao utilizando el pensamiento del ciclo de vida: Caso de estudio en Colombia.....	260
RESUMEN.....	260
INTRODUCCION	261
METODOLOGIA.....	262
Aspectos ambientales del acv.....	262
Análisis económico mediante la función de pérdida de taguchi (fpt)	263
Aspectos sociales	264
RESULTADOS Y DISCUSION	264
CONCLUSIONES	266
BIBLIOGRAFIA.....	267
CC.6.O. Proyecto Manejo de Carbono: Caso Municipio de San Rafael de Heredia, Costa Rica	269
RESUMEN.....	269
ABSTRACT	270
JUSTIFICACION.....	270
RESULTADOS DEL PROCESO	272
Estrategia participativa de Cambio Climático.....	272
Ejes de Acción	272
Etapas de la estrategia	273
Objetivo General de la Estrategia	275
Objetivos Específicos de la Estrategia.....	276
Políticas Ambientales.....	276
Proyectos de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático	276
Algunas conclusiones derivadas de la experiencia.....	279
BIBLIOGRAFIA.....	281
CC.7.O. Estimación del Balance Hidrológico en un Humedal Artificial construido en una región semiárida, Unidad Universitaria Valle de las Palmas. B.C. México.....	283
RESUMEN.....	283
INTRODUCCION	284
Ubicación	285
<i>Memorias VII Congreso de la Red Latinoamericana de Ciencias Ambientales</i>	210

METODOLOGIA	287
Sistema de humedales.....	287
Balance Hídrico	288
RESULTADOS Y DISCUSION	289
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	292
BIBLIOGRAFIA	292
CC.8.P. Impacto del cambio climático en la producción de agua del bosque mesófilo de montaña de la región Loxicha – Pluma Hidalgo, Oaxaca.....	293
RESUMEN	293
ABSTRACT	293
INTRODUCCION	294
METODOLOGIA	295
Delimitación de la cuenca y subcuencas.	295
Comunidades rurales.	296
Cálculo de la humedad relativa.....	296
Caracterización del agroecosistema cafetalero.	296
Diagnóstico de la biodiversidad.	296
Cálculo de la disposición a pagar de la industria hotelera.	297
RESULTADOS Y DISCUSION	297
Uso de Suelo del Río Copalita.....	297
Evidencias de Calentamiento Global.	298
Temperatura Media.....	298
Humedad Absoluta.....	298
Altitud de Condensación.	299
Biodiversidad del Agroecosistema Cafetalero.	300
Caracterización del agroecosistema cafetalero.	300
Disposición a pagar.....	301
CONCLUSIONES	301
BIBLIOGRAFÍA	302
CC.9.P. Evaluación del potencial de captura de carbono y análisis de suelos en un sistema pastoril de <i>Brachiaria brizantha</i> , en la subcuenca alta del río las piedras y el municipio de Popayán, departamento del Cauca - Colombia	304
INTRODUCCION	304
METODOLOGIA	305
Zona de muestreo	305

Muestreo de suelos	306
Cultivo de pasto	306
Tasa de Crecimiento fotosintética de <i>Brachiaria brizantha</i>	306
Análisis elemental en pasto Toledo	306
Análisis Bromatológico de <i>Brachiaria brizantha</i>	307
Análisis Químico de suelos	307
RESULTADOS	308
DISCUSION DE RESULTADOS	311
CONCLUSIONES	314
AGRADECIMIENTOS.....	314
BIBLIOGRAFIA.....	315
CC.10.P. Diversidad y biomasa en selvas medianas inundables de canacoite en la Chontalpa, Tabasco, México	318
INTRODUCCION	318
MATERIALES Y METODOS	319
RESULTADOS	320
Diversidad	320
Estructura	320
Biomasa	322
DISCUSION.....	322
Diversidad	322
Estructura	323
Biomasa	324
CONCLUSION.....	325
BIBLIOGRAFIA.....	325
CC.11.P. Clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense	328
INTRODUCCION	328
METODOS Y MATERIALES	328
RESULTADOS	330
CONCLUSIONES	339
BIBLIOGRAFIA.....	340
CC.12.P. Adaptación ante el cambio climático en el sector hídrico de México.....	342
RESUMEN.....	342
ABSTRACT	343
INTRODUCCION	343
<i>Memorias VII Congreso de la Red Latinoamericana de Ciencias Ambientales</i>	212

METODOLOGIA	344
RESULTADOS	344
Gobernanza en el sector hídrico. Políticas públicas y propuestas de adaptación en el sector social	345
Adaptación en la calidad del agua ante el cambio climático	345
Identificación y evaluación de medidas de adaptación en el sector hídrico.....	347
Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático	349
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	350
Gobernanza en el sector hídrico. Políticas públicas y propuestas de adaptación en el sector social	350
Adaptación en la calidad del agua ante el cambio climático	351
Identificación y evaluación de medidas de adaptación en el sector hídrico.....	351
Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático	352
BIBLIOGRAFIA.....	353
CC.13.P. Diseño de adobes urbanos para construcción de vivienda en México	354
RESUMEN.....	355
ABSTRACT.....	355
INTRODUCCION	356
METODOLOGIA	357
Granulometría del suelo	357
Elaboración de adobes	358
Resistencia a la compactación.....	359
RESULTADOS	360
DISCUSION DE RESULTADOS	362
CONCLUSIONES	363
BIBLIOGRAFIA.....	363
CC.14.P. Aportes de materia orgánica particulada en una quebrada altoandina	365
RESUMEN.....	365
ABSTRACT.....	366
INTRODUCCION	366
METODO	367
Área de estudio	367
Variables hidroclimáticas:	368
Muestreo de Materia Orgánica Particulada:.....	368
RESULTADOS Y DISCUSION	369
<i>Memorias VII Congreso de la Red Latinoamericana de Ciencias Ambientales</i>	213

ISBN: 978-9968-641-26-5

Variables climáticas caudal y precipitación.....	369
Entradas de MOP.....	369
Transporte de MOP.....	372
Relación MOPG/MOPF transportada.....	374
CONCLUSIONES.....	375
AGRADECIMIENTOS.....	376
BIBLIOGRAFIA.....	376

COMISIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO

CC.1.O. Análisis bioclimático como fundamento para el diseño de vivienda en la Zona Centro de San Luis Potosí, México

Marcos Algara Siller¹, José Enrique Rivera Vázquez¹ y Jorge Aguillón Robles²
marcos.algara@uaslp.mx; 52(444) 826-2330, ext. 2105

¹ Facultad de Ingeniería; Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

² Facultad del Hábitat; Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

Proyecto realizado bajo el apoyo del Fondo de Apoyo a la Investigación de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí bajo convenio C12-FAI-03-47.47 y con recursos del fondo PROMEP de Apoyo de Fomento a la Generación y Aplicación Innovadora del Conocimiento a través del convenio PROMEP/103.5/12/7964, ambos otorgados a Marcos Algara-Siller en 2012.

Correspondencia sobre el artículo a: Marcos Algara-Siller, Área Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Edificio G-01, Calle Dr. Manuel Nava #8 en Zona Universitaria Poniente, CP 78290, San Luis Potosí, SLP, México. marcos.algara@uaslp.mx.

RESUMEN

La vivienda familiar en el estado de San Luis Potosí adolece de propuestas de diseño que permitan a sus habitantes vivir de manera confortable y mejorar su calidad de vida. Comúnmente, el entorno y el clima son excluidos de los fundamentos de vivienda moderna en la ciudad. El resultado es una vivienda con altos consumos de energía y, por tanto, con una alta huella de carbono. Se busca una vivienda con elementos de diseño como la orientación, ventilación e iluminación, y elementos físicos como materiales de construcción y eco-tecnias que permiten el balance adecuado temperatura-humedad relativa. En el caso de las eco-tecnicas, éstas deben ser la última fase del diseño bioclimático sólo cuando los diferenciales de temperatura y humedad relativa no han sido alcanzados mediante el diseño de la vivienda y los materiales utilizados. En este análisis se presenta el cálculo de los factores meteorológicos, principalmente la temperatura ambiente y la humedad relativa. Con estos resultados se construyen tablas de su déficit o exceso con respecto a la zona óptima de confort interior. De esta manera se sientan las bases para estudios sobre el diseño con asoleamientos y ventilación apropiada, así como para el diseño de materiales de construcción con características termo-físicas adecuados.

Palabras clave: vivienda, diseño bioclimático, clima regional.

ABSTRACT

Actual housing developments in the state of San Luis Potosí lack design proposals to offer comfortable and high living quality houses. Frequently, surroundings and climate are excluded from modern urban housing. The result is high-energy consumption and high carbon footprint housing. A bioclimatic house includes design elements such as orientation, ventilation and lighting, and physical elements as construction materials and eco-techniques to balance temperature and relative humidity. On the other hand, eco-techniques should be taken into account during bioclimatic design only when the balance has not been achieved through design and materials. This analysis presents meteorological calculations for temperature and relative humidity in order to build tables with deficit and excess for both measurements, compared to the optimal comfort zone. This is the basis for other studies on sun direct radiation, appropriate ventilation and for the design of construction materials with adequate thermo-physical characteristics.

Keywords: housing, bioclimatic design, regional climate.

INTRODUCCION

Aunque el estudio del confort humano al interior de una edificación ha sido estudiado desde Vitruvio en el siglo I a.C., las ciudades modernas parecen olvidar los parámetros principales que dictara en su texto *De Architectura* para lograr una mejor calidad de vida. Estos parámetros consisten en aprovechar el sol, aire, vegetación y espacios para lograr un microclima interior favorable para habitarse (Ferreiro, y otros, 1991). La tecnología ha permitido solventar esta falta de condiciones ambientales confortables para vivir sanamente. La creciente tecnificación ha llevado a consumos energéticos elevados para lograr enfriar, calentar y ventilar adecuadamente los espacios habitables. Ya sea a través de electricidad, combustibles, o incluso energías alternativas, la energía concentrada en zonas urbanas y densamente pobladas presenta un reto y un impacto ambiental importantes. Además de las emisiones de contaminantes y gases de efecto invernadero, se incrementa el calor por el funcionamiento de los aparatos, se producen ruidos, se depende del flujo energético y se incurre en costos de operación y mantenimiento (Solís, 2010).

El uso de materiales de construcción y diseño para lograr una edificación bioclimática requiere del detalle de las condiciones climáticas (Fuentes, 2011). Los diferenciales de temperatura y humedad relativa, factores primordiales para el confort humano, a través de las estaciones del año dirigen las necesidades de diseño. La complicada realidad climática de México, que se deriva principalmente por la orografía y ubicación ante los océanos, exige estudios climáticos detallados. Enriqueta García, autora de las modificaciones de la clasificación climática de Köppen a México, habla de estas variaciones como cambios drásticos de características físicas y fenómenos meteorológicos en cortas distancias (García, 1988).

Esta diversidad de climas es palpable a través del estado de San Luis Potosí donde cada una de las cuatro zonas del estado cuenta con características muy distintivas que van desde el clima tropical cálido húmedo con selva mediana sub-perennifolia y precipitaciones hasta de 3,000 mm hasta clima semidesértico con precipitaciones que apenas alcanzan los 350 mm anuales.

En este estudio se delimita la Zona Centro del estado de San Luis Potosí, que se ubica al centro de México y que corresponde también a la capital del estado con una población mayor a un millón de habitantes y con problemas de contaminación atmosférica propios de una ciudad moderna y densamente poblada, además del clima semidesértico y los problemas de agua asociados a este clima.

La primera parte de la metodología consiste en la obtención de los registros meteorológicos. La temperatura y humedad relativa diaria, máximas, mínimas y medias, son los principales factores a utilizar. A continuación se propone utilizar diversos métodos para identificar el área de confort térmico. Se presentan los cálculos acordes a las ecuaciones Nicol-Humphrey para determinar el intervalo de temperatura de confort mensual y horario, de humedad relativa para confort térmico y los límites y horarios de la zona de confort para San Luis Potosí, método que no requiere del viento para realizar los cálculos (Nicol & Humphreys, 2001). Esta temperatura es ajustada mediante el

modelo de Roriz (2003) para estimar un ajuste para los límites de confort de acuerdo a la posibilidad de los usuarios de realizar acciones adaptativas (Fuentes, Arvizu, & Godard, 2012).

Este modelo constituye una guía para el diseño de edificaciones. El presente estudio va de la mano de otros estudios realizados en la zona para desarrollar materiales para uso urbano con características térmicas para lograr el confort climático. Otros trabajos incluyen el diseño arquitectónico y técnicas como los techos verdes, que según Alpuche et al. (2010) permiten lograr una diferencia de hasta de 8°C al interior de una vivienda.

METODOS

La propuesta metodológica consiste en delimitar la zona de estudio y su análisis climático para utilizar las ecuaciones de Nicol-Humphreys y obtener el confort térmico y sus límites para ajustarlos de acuerdo a Roriz. Las variables necesarias requieren el cálculo de los promedios horarios, máximos, mínimos y promedios diarios de temperatura y humedad relativa, así como la oscilación térmica registrada mensualmente y la diferencia de humedad relativa. Esto se realizó con los registros meteorológicos de las estaciones meteorológicas de la Secretaría de Ecología y Gestión Ambiental (SEGAM) del Estado de San Luis Potosí. Esta estación se selecciona ya que es la única que cuenta con los registros horarios. Se selecciona el año 2009 ya que otros años anteriores y posteriores no están completos. Los años 2010 y 2011 fueron años anormalmente secos y calientes, mientras que el 2009 fue un año con comportamiento normal. En el caso de la humedad relativa mensual se obtuvo con los registros de la estación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Delimitación del área de estudio y meteorología

El estado de San Luis Potosí está conformado por cuatro zonas: centro, altiplano, media y huasteca. Cada una agrupa condiciones climáticas similares, donde se reparten los 58 municipios en un total de superficie 61,165 km² ha y 2,585,518 habitantes. La zona centro se estudia como base por ser la zona donde se encuentra la capital del estado, San Luis Potosí, y por ser la ciudad con mayor población y densidad de población urbana (INEGI, 2009); (Secretaría de Desarrollo Económico, 2012). Esta zona se selecciona la zona conurbada de los municipios de San Luis Potosí, Soledad de Graciano Sánchez, Cerro de San Pedro y sus delegaciones correspondientes, con un total de 1'301,745 habitantes, el 48.9% del total del estado (Secretaría de Desarrollo Económico, 2012).

Las coordenadas centrales de la capital del estado son 22° 09' latitud norte y 100° 58' longitud oeste a una altitud de 1870 msnm. Esta zona se caracteriza por un clima seco templado con precipitación anual normal de 360 mm y que se presenta principalmente en verano. La temperatura media del año oscila entre 12°C y 21°C, al tiempo que el mes más frío puede presentar mínimas de 4°C y durante el mes más caliente temperaturas puede alcanzar los 30°C. La característica de clima seco se comprende también con la evaporación total anual normal de 1,788 mm (SMN).

Ecuaciones de Nicol-Humphreys

En primer lugar, las ecuaciones de Nicol-Humphreys consisten en definir el intervalo de temperatura de confort mensual y horario, determinar el intervalo de humedad relativa para confort térmico y los límites de confort para San Luis Potosí (Nicol & Humphreys, 2001).

La temperatura es el primer factor del estado del tiempo que asociamos al confort y la manera que controlamos la transmisión de la temperatura exterior hacia el interior de una vivienda.

Por otro lado, la humedad relativa, definida por la temperatura y presión de vapor de agua en saturación, rige la manera en que el cuerpo humano puede disipar su calor: a mayor humedad relativa menor facilidad de evaporar el calor y mayor malestar. La zona de bienestar térmico que oscila entre el 30% y 70% de humedad relativa, aunque el rango óptimo es de 40% a 60%. Algunos de los problemas de una humedad relativa por debajo del 30% es la proliferación de bacterias, virus, alergias y asma. Al mismo tiempo, una humedad relativa mayor al 70% también provocan el crecimiento de bacterias, virus, hongos, ácaros y también problemas de asma y alergias (UPME, 2003).

A continuación se realizan los cálculos mediante las ecuaciones de Nicol-Humphreys para los registros de la estación seleccionada.

Definición del intervalo de temperatura de confort mensual y horario. La temperatura de confort se obtiene como $T_c = (0.54 * T_{pm}) + 13.5$, donde T_{pm} es la temperatura promedio mensual. Los registros meteorológicos promedios arrojan las temperaturas promedio mensuales, según la ecuación T_c :

Tabla 1 Temperatura de confort (Tc) mensual

Temperatura	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
T. Máxima	27.2	29.9	26.8	31.6	33.4	33.4	30.6	29.6	26.8	30.0	25.1	26.4	33.4
T. Promedio max.	21.7	23.9	24.2	28.8	28.3	27.8	27.5	26.5	24.2	24.1	20.7	21.1	24.9
T. Promedio	15.0	16.5	19.5	21.7	22.0	21.5	21.6	21.0	19.5	19.1	15.0	15.1	19.0
T. Promedio min.	9.0	10.0	16.1	15.0	16.8	16.5	16.8	16.6	16.1	15.2	10.1	10.0	14.0
T. Mínima	3.9	2.9	14.0	7.5	12.1	12.1	14.9	15.0	14.0	10.6	6.5	4.7	2.9
T max. - T min.	12.7	14.0	8.1	13.8	11.6	11.3	10.7	9.9	8.1	8.9	10.7	11.1	10.9
Tc para cada mes													
T. Confort	21.6	22.4	24.0	25.2	25.4	25.1	25.1	24.9	24.0	23.8	21.6	21.7	23.7

Se realizan los cálculos de las temperaturas de confort mensual y anual con la ecuación de Nicol & Humphreys (2001). Las temperaturas de confort resultantes se ajustan en base a lo propuesto por Mauricio Roriz (2003) con un $\Delta t = \pm 2.5$ para establecer los límites de confort horario, Límite Máximo de Confort y Límite de Mínimo de Confort. Este cálculo se realiza con la Tc obtenida en la ecuación por Nicol & Humphreys y se ajusta con el valor registrado de temperatura exterior con la siguiente ecuación y se muestran en la tabla 2.

$$T_{ca} = T_{cnh} + [(T_{ext} - T_{cnh}) \cdot 0.4]$$

Donde:

T_{ca} : Temperatura de Confort ajustada.

T_{cnh} : Temperatura de Confort obtenida con la ecuación de Nicol & Humphreys.

T_{ext} : Temperatura exterior.

Tabla 2 Límites máximo y mínimo de la zona de confort

Anual	T_{ext}	T_{Cnh}	T_{ca}	L_{Maxc}	L_{Minc}
Hora	Temp Exterior	TC Eq. Nicol y Humphreys	Temperatura de Confort Ajustada	Límite Máximo de Confort	Límite Mínimo de Confort
01:00:00	17.03	23.7	21.1	23.6	18.6
02:00:00	16.30	23.7	20.8	23.3	18.3
03:00:00	15.76	23.7	20.5	23.0	18.0
04:00:00	15.23	23.7	20.3	22.8	17.8
05:00:00	14.77	23.7	20.1	22.6	17.6
06:00:00	14.37	23.7	20.0	22.5	17.5
07:00:00	14.06	23.7	19.9	22.4	17.4
08:00:00	14.03	23.7	19.9	22.4	17.4
09:00:00	14.94	23.7	20.2	22.7	17.7
10:00:00	16.44	23.7	20.8	23.3	18.3
11:00:00	18.15	23.7	21.5	24.0	19.0
12:00:00	19.96	23.7	22.2	24.7	19.7
13:00:00	21.66	23.7	22.9	25.4	20.4
14:00:00	23.05	23.7	23.5	26.0	21.0
15:00:00	24.09	23.7	23.9	26.4	21.4
16:00:00	24.70	23.7	24.1	26.6	21.6
17:00:00	24.76	23.7	24.1	26.6	21.6
18:00:00	24.24	23.7	23.9	26.4	21.4
19:00:00	23.18	23.7	23.5	26.0	21.0
20:00:00	21.79	23.7	23.0	25.5	20.5
21:00:00	20.34	23.7	22.4	24.9	19.9
22:00:00	19.22	23.7	21.9	24.4	19.4
23:00:00	18.31	23.7	21.6	24.1	19.1
00:00:00	17.62	23.7	21.3	23.8	18.8
Datos Horarios SEGAM (2009)					

Es importante notar la corrección por Roriz de acuerdo a la adaptación de los usuarios. Esto es, durante el día y la noche, las actividades diarias permiten que el cuerpo se sienta confortable a distintos valores de temperatura y humedad relativa. Además, durante las distintas horas del día la adaptación, como uso de ropa o ventilación provocada, son controlables en mayor o menor medida.

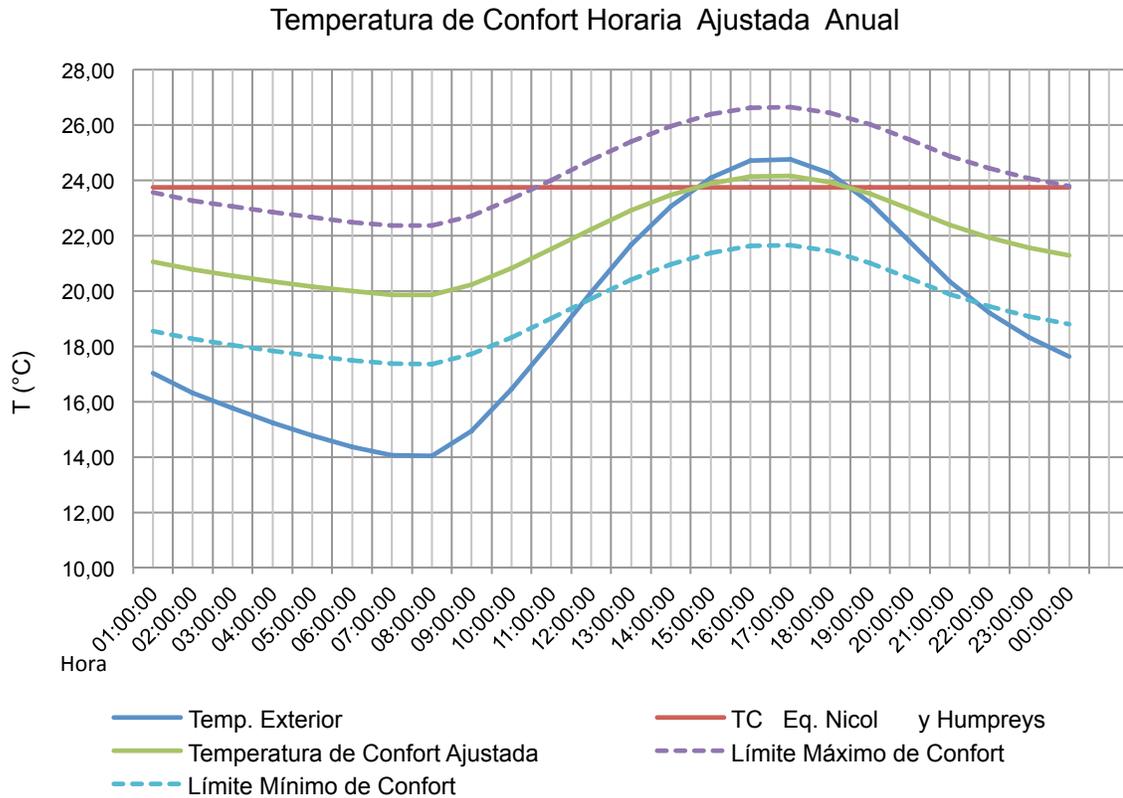


Figura 1 Temperatura de Confort horaria ajustada

Esta figura muestra el ajuste a la temperatura horaria y el diferencial con la temperatura exterior. Es decir, el rango de temperatura que la edificación debe mantener por arriba o por debajo para lograr el confort humano.

A continuación se introduce la humedad relativa para completar el estudio del confort térmico.

Determinación del intervalo de humedad relativa para confort térmico. Después de analizar la temperatura, se realizan los cálculos con la humedad relativa mensual y se presentan en la figura 2.

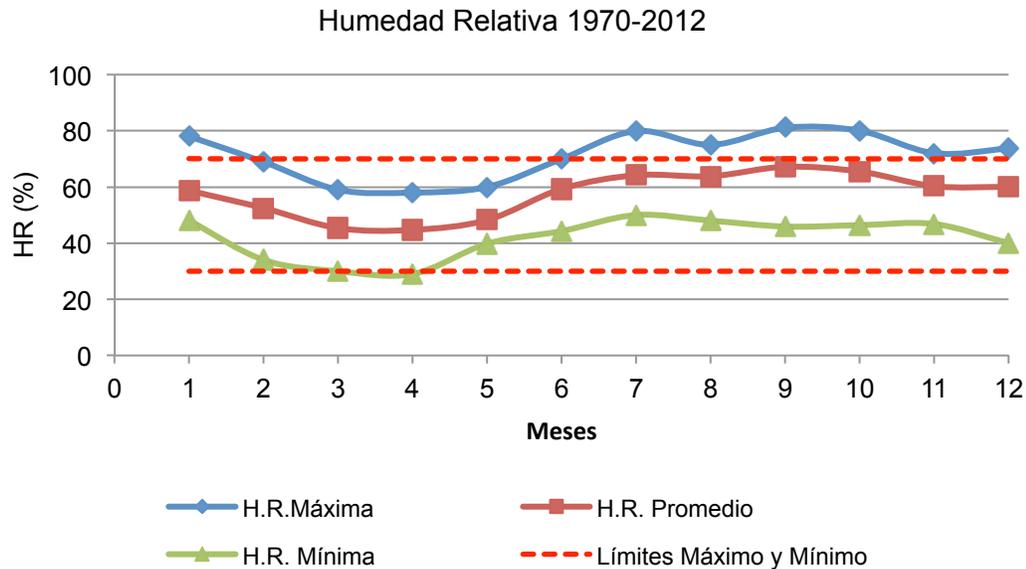


Figura 2 Humedad relativa normal mensual

Mientras la humedad relativa media mensual permanece dentro del rango recomendado 30-70%, la humedad máxima registrada sobrepasa el límite en los meses fríos, principalmente por el efecto de condensación en las horas de la noche. Por otro lado, la humedad relativa mínima registrada solamente se acerca al límite inferior en los meses de abril y mayo, donde se deben cuidar las horas del día de mayor insolación y menor densidad del aire.

RESULTADOS

Después de calcular el intervalo de temperatura y confort mensual y horario, así como el intervalo de humedad relativa para confort térmico, se determinan los límites de confort para San Luis Potosí. Esto a través de una gráfica que representa la conjunción de ambos intervalos y la sensación térmica (Figuras 3 y 4).

La figura 3 corresponde a los meses de invierno y verano, durante ambos solsticios, mientras que la figura 4 representa a las temporadas del año de equinoccio para primavera y otoño.

Los círculos en rojo representan los promedios de registros máximos, los delineados en verde los registros medios y los círculos en azul los registros mínimos mensuales. De esta manera se pretende conocer cuándo se exceden o no se alcanzan las condiciones de confort.

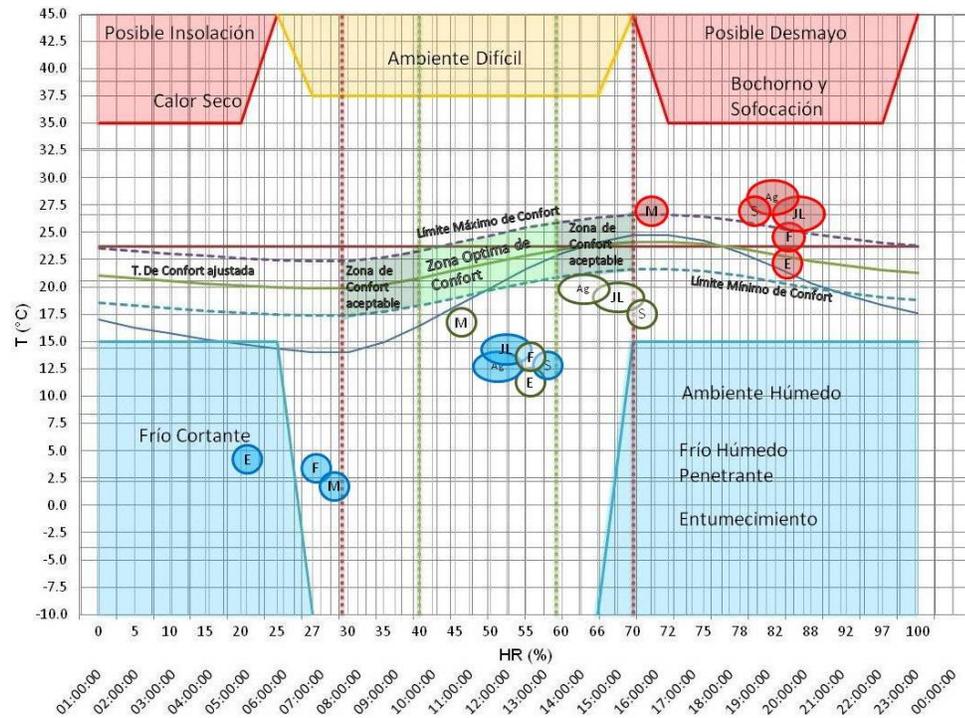


Figura 3 Zonas de confort. Diagrama adaptado a San Luis Potosí. Representa el invierno con los meses de enero, febrero, marzo y los meses de verano en julio, agosto y septiembre.

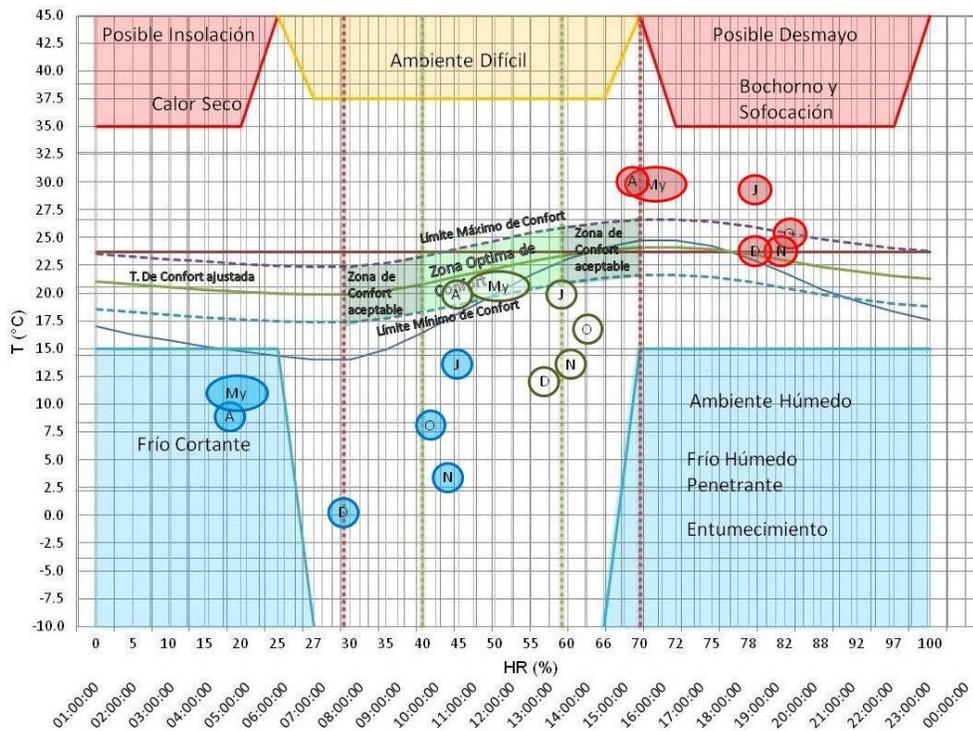


Figura 4 Zonas de confort. Diagrama adaptado a San Luis Potosí. Representa la primavera con los meses de abril, mayo y junio y los meses de otoño en octubre, noviembre y diciembre.

DISCUSION DE RESULTADOS

Se puede observar que los máximos de cada mes salen de las zonas de confort para todos los meses debido al exceso de humedad relativa que se presenta, algunos otros por la combinación de la alta humedad y temperatura. En cuanto a los datos promedio registrados de temperatura y humedad relativa de algunos meses se encuentran en la zona de confort siendo estos abril, mayo y junio, los meses restantes se encuentran fuera de la zona de confort, mayormente por las temperaturas registradas menores a la Tca.

Los meses de verano e invierno presentan temperaturas fuera de la zona de confort para las condiciones medias. Esto se debe a las altas temperaturas y humedades más altas por la temporada de lluvias en los meses de verano; y a las bajas humedades combinadas con fríos en los meses de invierno. Solamente en condiciones máximas, la mayoría de los meses se encuentran dentro o ligeramente por arriba de la zona de confort.

Por otro lado, en primavera y otoño se tienen temperaturas confortables para condiciones medias en abril, mayo y junio, por una combinación de humedad relativa media y una buena temperatura que oscila los 20°C. Sin embargo, para los mismos meses, sus condiciones máximas los acercan a una sensación de bochorno y sofocación con temperaturas cercanas a los 30°C. El caso contrario ocurre en los meses de otoño, pues la temperatura es ligeramente más baja y la humedad relativa más alta.

Se pueden interpretar las necesidades por mes y horario para hacer el uso de estrategias que ayuden a mantener la temperatura y humedad relativa adecuada a los límites establecidos de confort.

CONCLUSIONES

La marcada oscilación de la temperatura en la zona centro del estado de San Luis Potosí obliga a encontrar un diseño y selección de materiales, como estrategias pasivas básicas de construcción, para mantener la edificación confortable.

Actualmente, las viviendas modernas comienzan a utilizar tecnologías activas de climatización ya que estos elementos no se consideran durante su diseño. Se estima que los diferenciales máximos y mínimos necesarios para mantener el confort se pueden lograr con la adecuada orientación y ventilación.

Los máximos y mínimos que se registran durante el día pueden ser fácilmente equilibrados mediante materiales de construcción con buena capacidad térmica, como los adobes tradicionales.

El reto para el diseño y ventilación se encuentra en la configuración moderna de la casa habitación debido a los tamaños y orientaciones dadas por el trazo de la ciudad y la restricción por los cada vez menores espacios para la vivienda unifamiliar. Por esta razón, el confort de cualquier edificación debe diseñarse desde la planeación urbana y el trazo de avenidas y asignaciones de uso de suelo.

En el caso de la construcción, los materiales disponibles han demostrado su alta capacidad para conducir el calor hacia adentro de los espacios o para disipar el calor guardado durante el invierno. Es necesario contemplar materiales como el adobe, pero con su debida adaptación a las condiciones y necesidades de la edificación en zonas urbanas.

BIBLIOGRAFIA

(Nicol, J. F., & Humphreys, M. (2006). Maximum temperatures in European office buildings to avoid heat discomfort. *Solar Energy*. 2007, 81 .

Alpuche, M. G., Moreno, H., Ochoa, J. M., & Marinic, I. (2010). Análisis térmico de viviendas económicas en México utilizando techos verdes. En *Estudios Sobre Arquitectura y Urbanismo del Desierto* (Vol. Volumen III). Programa de Arquitectura. Universidad de Sonora.

Ferreiro, H., Fuentes, F. V., García, J. R., Gutiérrez, S., Hernández, M., Lacomba, R., y otros. (1991). Manual de Arquitectura Solar. Trillas.

Fuentes, P. C., Arvizu, S. E., & Godard, S. R. (2012). Determinación de las zonas de comodidad térmica para la vivienda. *Arquitectura para Metrópolis Sustentables. Reunión nacional ASINEA 88 Cuernavaca*. Morelos 2012. .

García, E. (1988). Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. México.

INEGI. (2005). *SIGE San Luis Potosí*. Obtenido de Caracterización de San Luis Potosí. : <http://sc.inegi.org.mx/sistemas/cobdem/contenido.jsp?rf=false&solicitud=contenido.jsp>.

INEGI. (2009). *Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos*. Obtenido de San Luis Potosí, San Luis Potosí.: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/>.

Nicol, J. F., & Humphreys, M. (2001). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. Oxford Centre for Sustainable Development, School of Architecture, Oxford Brookes University, UK.

- Rojas, J., Huelsz, G., Tovar, R., Barrios, G., Lira-Oliver, A., & Castillo, A. (2010). Energía y Confort en Edificaciones. . *Revista Digital Universitaria*, Volumen 11(Número 10).
- Roriz, M. (2003). Flutuações horárias dos limites de conforto térmico: uma hipótese de modelo adaptativo. *ENCAC/COTEDI, 7. ANTAC 2003*, 338 - 345.
- Secretaría de Desarrollo Económico. (2012). *Perfiles Industriales del Estado de San Luis Potosí 2012*. Obtenido de Secretaría de Desarrollo Económico de San Luis Potosí. Gobierno del Estado 2009-2015. : <http://www.sdeslp.gob.mx/estudios/perfiles/Estado%20de%20SLP.pdf>.
- Secretaría de Desarrollo Económico. (2013). *Panorama Económico del Estado de San Luis Potosí: Segundo Trimestre 2013*. Obtenido de Secretaría de Desarrollo Económico de San Luis Potosí. Gobierno del Estado 2009-2015.: <http://www.sdeslp.gob.mx/estudios/Panorama%20Economico.pdf>.
- SMN normales SLP. (s.f.). Obtenido de http://smn.cna.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=42&Itemid=75 <http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales8110/NORMAL24111.TXT>
- Solís, D. (2010). Análisis térmico de una vivienda económica en clima cálido-seco bajo diferentes orientaciones y medidas de sombreado. En *Estudios sobre Arquitectura y Urbanismo del Desierto* (Vol. Volumen III, págs. 31-57.). Programa de Arquitectura. Universidad de Sonora.
- UPME, U. d. (2003). Guía de Variables Bioclimáticas y su rango de fluctuación para obtener condiciones de confort, Formulación de un programa básico de normalización para aplicaciones de energías alternativas y difusión. *Versión 01, Documentación ANC-0603-20-01, Unión temporal ICONTEC- AENE Consultoría S.A.*, . Bogotá.
- Usón, G. E. (2012). *Estrategias para la Reducción del Impacto Ambiental en los nuevos Desarrollos Urbanos: Ejemplos de Aplicación*. Obtenido de ACE: Architecture, City and Environment= Arquitectura, Ciudad y Entorno: http://www-cpsv.upc.es/ace/Articles_n19/articles_pdf/ACE_19_SA_12.pdf
- Vitruvio, P. M. (entre 25 y 27 a.C). De Architectura.

CC.2.O. Tizón temprano (*Alternaria solani* Sor.) de la papa bajo condiciones de cambio climático en Ciego de Ávila, Cuba

Early blight (*Alternaria solani* Sor.) of potato under conditions of climate change in Ciego de Avila. Cuba

Alexis Augusto Hernández Mansilla¹, Denia González Alfonso¹, Rogert Sorí Gómez¹, Aliana López Mayea¹, Yadira Valentín Pérez¹ y Oscar Benedito Rodríguez¹

¹Centro Meteorológico Provincial Ciego de Ávila. Marcial Gómez 401, esquina Estrada. Ciego de Ávila Cuba. Email: ahmansilla@mail.com y ahmansilla@gmail.com

RESUMEN

Disponer de la predicción epidemiológica bajo condiciones de cambio climático del Tizón temprano, enfermedad de impacto en el cultivo de la papa en Cuba, resulta ventajoso como requerimiento indispensable para una eficiente planificación agroproductiva de repercusión en la seguridad alimentaria territorial. Determinar las condiciones meteorológicas para la aparición y desarrollo de *Alternaria solani* Sor. bajo condiciones de cambio climático en la Empresa de Cultivos Varios “La Cuba” para los años 2020, 2025 y 2030 fue objetivo del trabajo. Su ejecución en el Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila implicó la confección de escenarios bioclimáticos con la utilización de datos diarios de temperatura máxima, mínima, humedad relativa media y el acumulado de precipitación del período noviembre - abril, para emisiones a2 y b2 de salidas del modelo regional “PRECIS CARIBE” con condiciones de frontera del modelo global ECHAM-4. Se graficaron las variables en función de modelo bioclimático para su predicción en Cuba, que señala períodos críticos (PC) para esta patología y se incluyó la línea base de temperatura máxima y mínima con registros del período 1970 -1990. Se pronosticó predominio de temperatura mínima favorable \geq a 18 °C, humedad relativa mínima \geq a 60 % a excepción de algunos días de los meses de diciembre – enero; que señalan PC en la etapa de desarrollo vegetativo y tuberización con acentuación en escenarios b2. Los resultados sugieren establecer manejo del cultivo mediante medidas agroecológicas que coadyuven a la mitigación al cambio climático y a la resiliencia del agroecosistema de la papa.

Palabras claves: cambio climático, enfermedades papa, tizón temprano, escenarios cambio climático

ABSTRACT

Provide epidemiological prediction under climate change conditions of early blight, disease impact on potato cultivation in Cuba, is advantageous as essential requirement for efficient planning of agricultural production in repercussion in regional food security. Determine the weather conditions for the emergence and development of *Alternaria solani* Sor. under conditions of climate change on Crops Enterprise "La Cuba" for the years 2020, 2025 and 2030 being objective these papers. Its execution in Provincial Meteorological Center of Ciego de Ávila involved the confection of bioclimatic scenarios with the use of daily temperature data maximum, minimum, average relative humidity and accrued rainfall for the period from november to april, for a2 and b2 emissions output regional model "PRECIS CARIBE" with boundary conditions of the global model ECHAM-4. The variables were graphed according to bioclimatic model for forecasting in Cuba, pointing critical periods (PC) for this illness and it was included the baseline of logs the period 1970 -1990 with maximum and minimum temperature. With predominance on the prediction of favorable minimum temperature $\geq 18^{\circ} \text{C}$, minimum relative humidity $\geq 60\%$ with the exception of days some de los months of December – January, pointing PC at the stage of vegetative development and tuberization with emphasis on the b2 scenarios. The results suggest establishing crop management across agro-ecological measures that contribute to climate change mitigation and resilience of potato agroecosystem.

Key words: climate change; potato diseases; early blight; climate change scenarios

INTRODUCCION

El cultivo de la papa, es un importante reglón alimentario de la población cubana. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), los índices productivos en el país ascienden a 16 mil toneladas, producción que representa más del 30 % de todo el cultivo de raíces y tubérculos, con una disponibilidad aproximada de 32 kg/hab/año (FAO, 2012).

La producciones de este tubérculo son afectadas por un grupo importante de organismos nocivos entre los cuales *Alternaria solani* Sor. agente causal del Tizón temprano de la papa es una de las enfermedades más destructivas del cultivo en el mundo (Mantecón, 2006). En Cuba, produce severas pérdidas si las plantaciones no tienen un riguroso manejo fitosanitario. Este hongo fitopatógeno es capaz de provocar una fuerte reducción de la actividad fotosintética como consecuencia de la muerte del tejido foliar, lo cual provoca pérdidas hasta de un 50 % en el rendimiento (Cramer, 1967); (Piña, 1979); (Zachmann, 1982) citados por (Gómez, y otros, 1999).

Entre las zonas de cultivo más afectadas por esta enfermedad en Cuba, se encuentran los territorios pertenecientes a las provincias centrales como Cienfuegos, Villa Clara y Ciego de Ávila (Castellanos, 2005).

Los daños y la prevalencia de la enfermedad en las áreas dedicadas a la papa en el país hacen considerar preocupante la presencia de este fitopatógeno en el cultivo y su repercusión en la “seguridad alimentaria”, aspecto que hoy día se valora, como la necesidad de disponer alimentos para todos, sobre una demanda creciente con estimados de producción agrícola aumentada en un 70 % para el 2050 en relación con los actuales rendimientos agrícolas mundiales (Burney *et al.*, 2010 citado por De Schutter, 2010). Situación que de forma general es un desafío para los agricultores del mundo en los próximos 40 años que tendrán que duplicar la producción de alimentos (Collette, y otros, 2001), con mayor presión si se tienen en cuenta los efectos de un inequívoco calentamiento del sistema climático (IPCC, 2007).

Valorar los efectos del cambio climático sobre la situación fitosanitaria de los cultivos, es decisivo para alcanzar los rendimientos previstos, pues solo las pérdidas de alimentos por plagas y agentes patógenos en el terreno pueden alcanzar entre un 20% y un 40% de la cosecha potencial de los países en desarrollo (PNUMA, 2009; citado por De Schutter, 2010).

Altieri y Nicholls (2008) opinan de acuerdo a los estudios realizados, que los insectos plagas serán generalmente más abundantes en la medida que la temperatura aumente y advierten de forma general respecto a los organismos causales de enfermedades, que estos pueden incrementar su severidad a tenor de las variaciones en los índices de temperatura y humedad como consecuencia del cambio climático.

Las anteriores consideraciones hacen inminente, la necesidad de predecir los futuros escenarios de *A. solani*. Estos aportarán elementos sustanciales sobre el futuro comportamiento de este hongo fitopatógeno en Cuba y en especial para Ciego de Ávila, uno de los territorios del país de mayor productividad del tubérculo, lo cual permitirá trazar una política de adaptación al cambio climático que incluya medidas claves para el manejo fitosanitario de esta enfermedad dentro de la planificación económica de explotación del cultivo de la papa.

El presente trabajo persigue determinar las condiciones meteorológicas para la aparición y desarrollo de *Alternaria solani* Sor. bajo condiciones de cambio climático en la Empresa de Cultivos Varios “La Cuba” para los años 2020, 2025 y 2030.

MATERIALES Y METODOS

La ejecución del trabajo comprendió el período de febrero a abril del 2013 en el Centro Meteorológico Provincial de Ciego de Ávila. Se confeccionaron escenarios bioclimáticos para predecir las condiciones meteorológicas propicias para la aparición y desarrollo de *A. solani* (Tizón temprano) bajo efecto del cambio climático.

En la elaboración se emplearon corridas diarias de variables climáticas del Modelo Climático Regional Precip – Caribe, que a su vez utilizó datos de frontera generados por el Modelo Climático Global ECHAM – 4 (PRECIS CARIBE, 2010) y las condicionantes de altas emisiones GEI (a2) ó bajas emisiones (b2). Los años seleccionados en el análisis fueron 2020, 2025 y 2030. Los plazos previstos no incluyen tiempos extremadamente prolongados para así reducir incertidumbres que los modelos pueden aportar en la confección de los escenarios bioclimáticos y así alcanzar mayor confiabilidad en los mismos, pues estos dan factibilidad de ser utilizados para la inclusión de medidas de manejo fitosanitario para este fitopatógeno en las políticas de adaptación al cambio climático con un aporte a la resiliencia del agroecosistema papero, en especial en Ciego de Ávila donde las áreas de este cultivo son significativas.

Los cálculos matemáticos de los valores predictivos de las variables en estudio y los procesos de graficación de los escenarios, se realizaron mediante el empleo del software Statistica 8.0 (StatSoft, Inc., 2007) y Microsoft Excel (2007) del paquete de Microsoft Windows (2007).

Para la elaboración de los escenarios bioclimáticos, se estableció un fenoclimatograma que incluyó las variables meteorológicas de temperatura mínima (T mín), máxima (T máx); humedad relativa mínima (Hr mín), media (Hr med) y precipitación (Prec.) del período de noviembre a abril (diarios).

La selección de las variables meteorológicas, partió de los criterios de Gómez *et al* (1999 a), que señalan las más relacionadas y con mayor dependencia. Este colectivo de autores validó un modelo de Pronóstico del Tizón temprano que evidencia períodos críticos (PC) para el desarrollo epifitológico de *A. solani*; bajo condiciones meteorológicas de $T \text{ mín} \geq 18^\circ \text{ C}$, $Hr \text{ med} \geq 84 \%$, ó $Hr \text{ mín} \geq 60\%$, o ambas; acompañadas de $Prec. \geq 0,5 \text{ mm}$; durante dos días consecutivos en las áreas sembradas con más de 30 días. Parámetros que constituyeron índices limitantes para enmarcar la aparición y desarrollo del hongo fitopatógeno en la elaboración de los escenarios bioclimáticos. Aunque en el caso característico de este cultivo se asume la presencia un óptimo de humedad en el suelo de forma permanente dadas las garantías de riego.

Gómez y Rodríguez (1989) y Gómez *et al* (1999 a y b) plantean que resulta imprescindible la búsqueda de una relación entre las condiciones meteorológicas y la aparición y el desarrollo de epifitias de la enfermedad del tizón temprano.

Lo cual justifica la formulación de los escenarios bioclimáticos a partir de la predicción de los valores alcanzables por las variables que mayor influencia ejercen sobre el desarrollo del hongo en condiciones de campo.

Según recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial se hace necesario para la realización de este tipo de trabajo, analizar la referencia estándar internacional 1961 a 1990 (OMM, 2001). Lo que implicó la inclusión de la línea base de $T_{\text{máx}}$ y $T_{\text{mín}}$ en los escenarios bioclimáticos, la misma se confeccionó con registros de la Estación Meteorológica de Venezuela (78346), aunque se aclara que solo se tomó el período de 1970 a 1990, pues existen faltantes de datos de la década de 1960 a 1969.

Los valores de las variables climáticas involucradas en el cálculo se corresponden con las coordenadas geográficas de 22° N y 78.5° W, representativas para la provincia de Ciego de Ávila, ubicado en la Empresa Cultivos Varios “La Cuba” y Cooperativas de Producción Agropecuaria aledañas a esta localidad pero decisivas en la producción de este tubérculo, pertenecientes al municipio Baraguá.

Para el tratamiento de los datos de las corridas del modelo según variables, se aplicaron los siguientes procedimientos:

- Temperatura ($^{\circ}\text{C}$): Se tomaron directamente los valores extremos máximos y mínimos del modelo para los años de interés, luego de comprobar su estacionalidad, según criterios Lecha *et al.* (1994). Además del análisis de desviaciones estándar de los valores mediante el software R-Climdex 2.6.0 (The R Foundation for Statistical Computing. , 2007).

- Humedad relativa (%): se tomaron valores directos del modelo y se realizó similar análisis de calidad de los datos que la anterior variable.

- Precipitación (mm): Se analizó el comportamiento real de la precipitación registrado en la estación pluviométrica de “La Cuba” perteneciente al Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, del período 1992 – 2009. Con la finalidad de ajustar los datos referentes a los años en estudio, mediante una comparación de los datos reales y los modelados por el Modelo Regional Precip para la misma área.

La muestra se integró por 17 años, se estratificó por bimestres con el fin de detallar el carácter de la variable y se calculó un coeficiente de corrección diario para los datos modelados. El coeficiente condicionó el aumento del valor de lluvia modelado pues en la comparación de los valores medios bimestrales en ningún caso igualaron los acumulados reales registrados.

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el presente trabajo, representados en las figuras 1, 2 y 3 que exponen los escenarios bioclimáticos de Tizón temprano (*A. solani*) en las áreas de papa de la E.C.V La Cuba” para los futuros años 2020, 2025 y 2030.

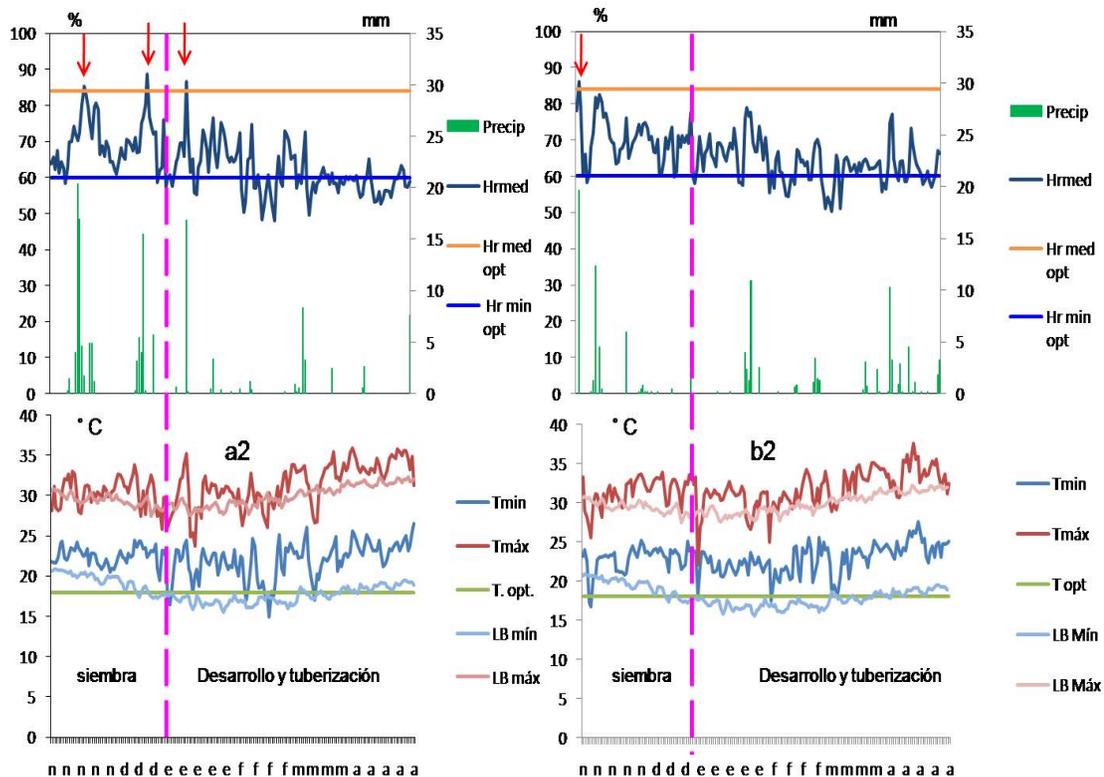


Figura 5 Condiciones Meteorológicas para la aparición y desarrollo de *Alternaria solani* Sor. Bajo el efecto del cambio Climático. Escenarios bioclimáticos. E.C.V. “La Cuba”. Ciego de Ávila. Año 2020.

La figura 1, expone claramente una amplitud térmica óptima para el desarrollo de la enfermedad durante todo el año 2020, obsérvese que no se cumple salvo escasos momentos correspondientes a los meses de enero y febrero que coinciden con la fase de desarrollo y tuberización (escenarios a2) y solo en enero en el escenario b2 para esta misma fase fenológica del cultivo. En comparación con la línea base de temperatura para ambos escenarios, se puede constatar que existirán condiciones térmicas apropiadas para la aparición y desarrollo de este fitopatógeno por efecto del cambio climático, por cuanto la línea base de temperatura mínima muestra los meses

de enero y febrero con condiciones desfavorables si tenemos en cuenta que la T_{\min} que incide es $< 18^{\circ}\text{C}$, lo cual no cumple con lo que señala Gómez *et al.* (1999 a) como requisito indispensable para que el hongo aparezca y se desarrolle en las áreas de papá.

El pronóstico de los valores de T_{\max} dentro del período analizado para el año 2020, son de 35.2; 35.4; 35.5 $^{\circ}\text{C}$ durante los meses de enero, marzo y abril respectivamente, estos valores aunque no son predominantes pueden afectar el proceso infeccioso de acuerdo a Pscheidt (1985) y Rotem (1994) citados por van der Waals, (2008). Los índices más bajos de T_{\min} de acuerdo a la predicción de los modelos, se registran en días del mes de enero con 16.5 $^{\circ}\text{C}$ y 17.3 $^{\circ}\text{C}$, y en marzo con 17.0 $^{\circ}\text{C}$. Esto señala que el predominio de la limitante de T_{\min} no es impedimento de forma general para el desarrollo de la enfermedad en condiciones de campo (escenario a2) salvo las especificaciones que se señalan (Figura 1).

El escenario b2, presentó valores extremos de T_{\max} de 37.6 $^{\circ}\text{C}$ en abril, mientras que los extremos inferiores para T_{\min} se pronosticó con 17.5 $^{\circ}\text{C}$, en febrero (Figura 1).

Las restantes variables en ambos escenarios (a2 y b2; Figura 1), H_r med muestran un comportamiento favorable, durante el período de explotación del cultivo, a excepción de los meses de febrero y parte de marzo donde desciende por debajo del mínimo requerido para el desarrollo del fitopatógeno, además, se señalan con pequeñas saetas rojas los momentos en que los porcentajes de humedad media del aire rebasan los óptimos favorables según Gómez *et al.* (1999) para la aparición y desarrollo de la patología en el cultivo que en combinación con las otras variables se cumplen PC, se destaca que el año 2020 no se observó índices medios para esta variable de manera frecuente en toda la etapa de explotación del cultivo (noviembre a abril).

La H_r med alcanzó sus valores extremos con 88.7 % en días del mes de diciembre, mientras los índices más inferiores se registraron con 48.2 % en febrero y 52.8% en abril, no obstante, no llegan a impedir el desarrollo del fitopatógeno (escenario a2), Respecto al escenario b2, esta variable alcanzó el índice más elevado con 86.2 % en noviembre, y el más bajo 51.2 % en marzo. (Figura 1).

Para la precipitación se predicen acumulados bajos (Figura 1), típicos del período poco lluvioso en Cuba, pero dadas las características agrotécnicas del cultivo y el régimen de riego a que se someten estas áreas de forma regular, se puede atribuir que las condiciones de humedad en suelo están garantizadas para que la enfermedad progrese.

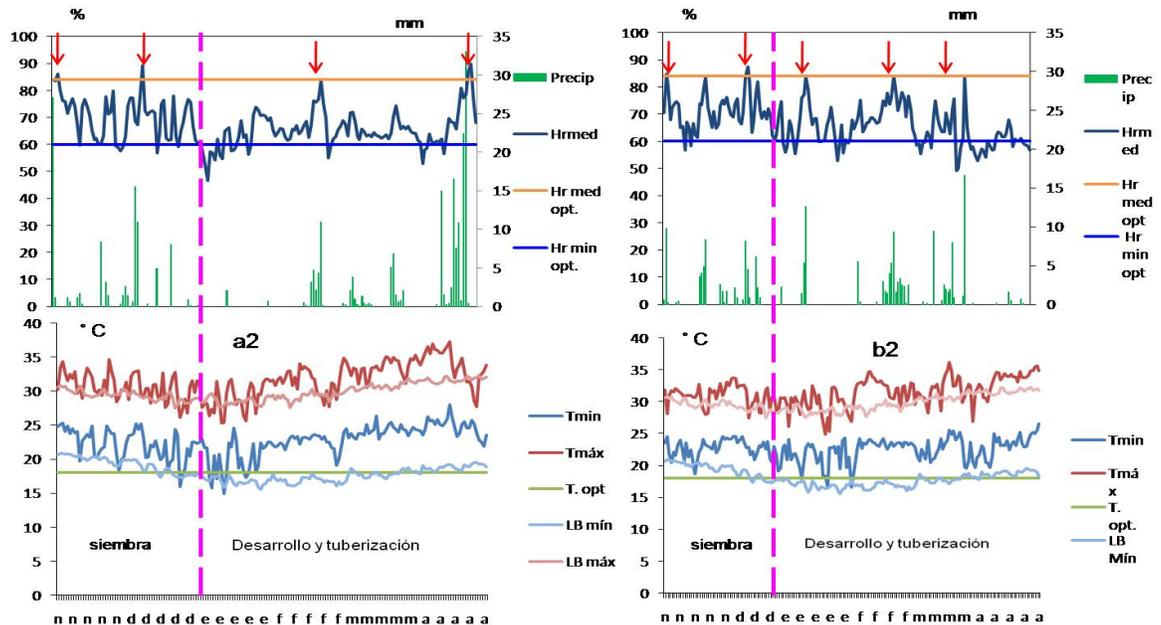


Figura 6 Condiciones Meteorológicas para la aparición y desarrollo de *Alternaria solani* Sor. Bajo el efecto del cambio Climático. Escenarios bioclimáticos. E.C.V. "La Cuba". Ciego de Ávila. Año 2025.

Para el 2025 (Figura 2), los efectos del cambio climático según la predicción realizada, los índices alcanzados por las variables meteorológicas, para escenarios de emisiones a2 y b2, muestran condiciones similares al 2020. La T mín, se comportará durante la mayor parte del período de cultivo superior a los 18 °C, lo que clasifica como favorable para el desarrollo epifitológico de *A. solani*, con mayor acentuación respecto a la línea base que sí presenta períodos inferiores a este índice. La T máx en ambos casos es favorable, solo que con valores más elevados, fundamentalmente a partir del mes de febrero respecto a su línea base, se observa además de manera generalizada un estrechamiento de la amplitud térmica.

Los valores más altos de T máx, se observó en los meses de marzo y abril con índices que oscilan entre 34.4 y 37.3 °C respectivamente según la predicción. Mientras los valores más inferiores de la variable T mín que aparece en el escenario son de 14.9 y 15.8 °C durante los días del mes de enero (escenarios a2, Figura 2).

En el escenario b2, Figura 2, el valor extremo de T máx se pronosticó para el mes de abril con 35.6 °C, límite para el proceso infeccioso según argumentos discutidos con anterioridad en este trabajo. Mientras el mínimo para la variable de T mín se predice con 16.7 °C. Se puede observar que no son frecuentes índices próximos a estos valores, lo cual señala que las condiciones de temperatura tienden a predominar favorablemente para desencadenar epifitias de tizón temprano.

Los valores más elevados de Hr med se muestran durante los meses de diciembre con 89.2 % y abril con 89.8 %, índices favorecedores para los desarrollar procesos biológicos de este hongo (escenarios a2). Esta variable, para el caso del escenario b2

mostró cuantías porcentuales superiores al 60 %, durante toda la etapa del cultivo, con una mayor frecuencia de días superiores a 84 % (Figura 2).

La precipitación, se presenta de forma similar al caso anterior, con índices bajos, solo que este déficit es suplementado por el régimen de riego a que se somete el cultivo (Figura 2).

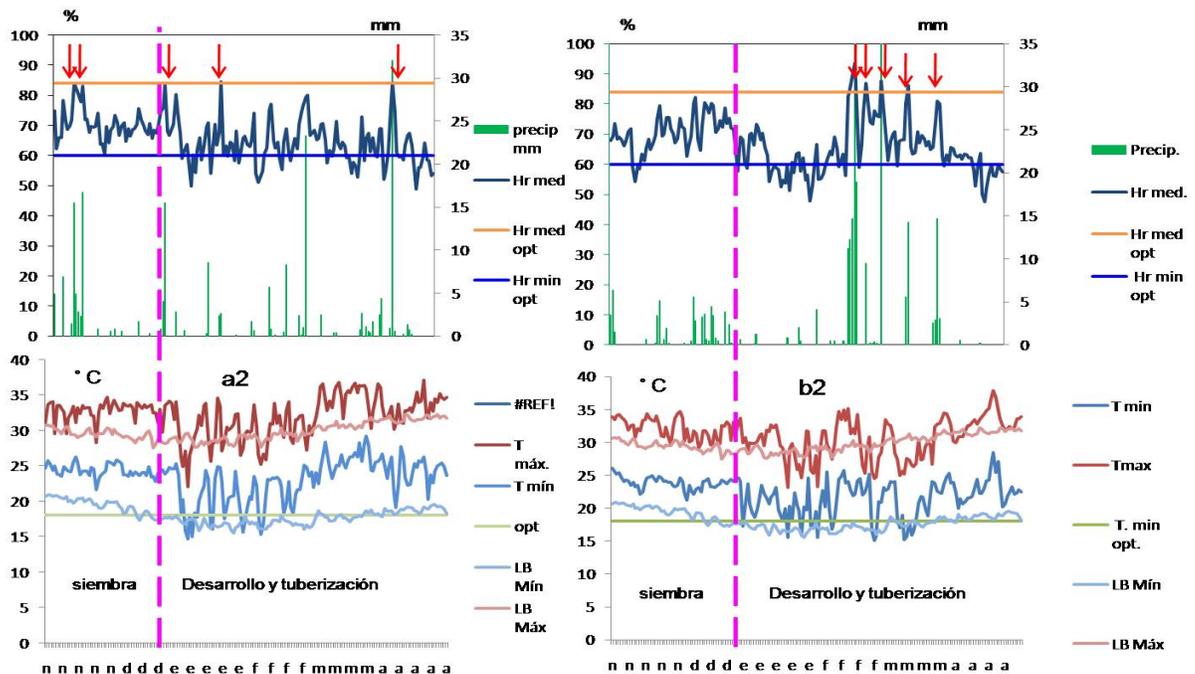


Figura 7 Condiciones Meteorológicas para la aparición y desarrollo de *Alternaria solani* Sor. Bajo el efecto del cambio Climático. Escenarios bioclimáticos. E.C.V. "La Cuba". Ciego de Ávila. Año 2030.

Para el 2030 (Figura 3,) expone comportamientos muy similares a los anteriores escenarios bioclimáticos 2020 y 2025. Las condiciones de temperatura acentúan más el estrechamiento de la amplitud térmica, así como en los meses de enero y febrero se observan días con T_{min} inferiores a 18 °C, con menor realce en condiciones de emisiones b2. No obstante, los valores en que fluctúa la temperatura serán favorables para que aparezcan brotes de la enfermedad en gran parte del período del cultivo.

Los valores extremos de T_{máx}, sobrepasan los 36°C, específicamente en el mes de marzo, lo cual puede ser limitante si atendemos a planteamientos de Pscheidt (1985) y Rotem (1994) citados por van der Waals, (2008) que plantean que el hongo desarrolla un proceso infeccioso a temperaturas entre 10 y 35 °C. Los índices mínimos de T_{mín}, se presenta durante los meses de enero (14.7°C); y febrero con 15 y 15.3 °C, estos valores de temperatura aún no son en extremo limitantes para el fitopatógeno. (Escenarios a2, Figura 3).

El escenario b2, Figura 3, exhibe el valor más elevado de T_{máx}. en el mes de abril con 37.9 °C. En el caso de la variable T_{mín}, el índice extremo alcanzó valores de 15.1°C en febrero.

La variable Hr med del aire, presentó días por debajo del índice porcentual mínimo requerido para el desarrollo de la enfermedad, como también concurren días extremadamente favorables pues los valores sobre pasan el nivel óptimo de la esta variable, en mayor frecuencia para los escenarios de emisiones b2 (Figura 3).

El índice más elevado de Hr med se muestra durante enero con 84.6 %, favorable para el desarrollo de la enfermedad, a su vez los valores más bajos se pronosticaron para abril con 48.8 %, aunque existirán porcentajes que oscilarán alrededor del 50 %. (Escenarios a2, Figura 3).

Respecto a la precipitación el comportamiento mantiene la misma similitud que en los anteriores resultados, ante lo cual se plantean las mismas razones comentadas para los casos analizados, considerando un ambiente favorable.

Es importante señalar que en todos los escenarios aparecen manifestados períodos críticos (PC), estos coinciden con las saetas rojas que a su vez señalan los días en que la Hr med alcanzó valores porcentuales superiores al 84 %, constituyen tiempos en coincide una $T_{\min} \geq 18^{\circ} \text{C}$ y $Hr_{\min} \geq 60\%$, durante dos días consecutivos y una edad superior a 30 días de sembrado el cultivo, este último constituye un parámetro de importancia el cual de acuerdo con Gómez *et al.* (1999 a) y Castellanos *et al.* (2005), ya que se considera que las plantas de papa son más sensibles a la enfermedad una vez que el cultivo sobrepasa los 30 días de sembrado y entra en la fase de tuberización.

Es importante referenciar otros resultados de investigaciones que señalan las relaciones físicas (condiciones meteorológicas) con el tizón temprano. Las que a su vez justifican los efectos de las predicciones realizadas que se muestran en estos escenarios sobre el desarrollo de *A. solani*.

Hernández *et al.* (2008) encontró que como consecuencia de la incidencia de vientos del este al sudeste (que aportan en superficie calor y humedad en superficie) una coincidencia fuerte con la aparición de la enfermedad en los meses de fin de año, en enero y febrero, días en que se registraron $T_{\min} \geq 18^{\circ} \text{C}$, Hr mín superior al 52 % y H r med. superior al 73 % con predominio de valores superiores al 80%.

A continuación, se ofrecen referencias bibliográficas que caracterizan el modelo biológico de *A. solani* que a afirman la predicción del comportamiento de la enfermedad en las áreas de campo del cultivo dela papa.

Se plantea que este hongo requiere para su desarrollar el proceso de germinación de los conidios 100 % humedad relativa y temperatura de 25°C como mínimo durante dos horas (Waggoner & Parlage, 1974).

También se informa, que el mínimo de temperatura para el proceso infeccioso en las plantas requiere entre 10°C y 35°C , con un óptimo entre 20°C y 30°C . Se agrega que la esporulación de este fitopatógeno ocurre entre 5°C y 30°C , con un óptimo alrededor de 20°C (Pscheidt, 1985 y Rotem, 1994 citados por van der Waals, 2008).

Referente a las necesidades de humedad relativa según Stevenson y Pennypacker (1988) resulta favorable para la germinación, cuando es superior al 92 %; proceso

biológico no presente por debajo del 88 % (Piña, 1979). van der Waals (2008) cita consideraciones de Rotem (1994) quien señala que la germinación se facilita por la presencia de agua (100 % de Humedad relativa), cita además, informaciones de Bashi y Rotem (1975) y Rotem *et al* (1978) que refieren que el hongo aprovecha los períodos húmedos cortos (nocturnos) para continuar su desarrollo, que interrumpe por los secos durante el día, singularidad que permite la adaptación y desarrollarse bien en áreas con continua humedad y con alternancia de húmedos y secos.

Conocer estos detalles del modelo biológico de *A. solani* permiten comprender los análisis y reflexiones realizadas en este trabajo en cuanto al efecto de las condiciones meteorológicas derivadas del cambio climático. Aspectos que enriquecen y corroboran las predicciones realizadas como favorables para el desarrollo de la enfermedad en el territorio Ciego de Ávila, especialmente en la E.C.V. “*La Cuba*” y Cooperativas de Producción Agropecuaria aledañas a esta empresa. Consideraciones determinadas en este trabajo y que conducen a las siguientes conclusiones.

CONCLUSIONES

Se pronostican riesgos de afectaciones en el cultivo de la papa durante los años 2020,2025 y 2030 a causa de epifitias de *Alternaria solani* Sor. Como consecuencia de:

- Futura presencia de condiciones meteorológicas de temperatura mínima favorable ≥ 18 °C ; humedad relativa mínima \geq a 60 % a excepción de algunos días de los meses de diciembre-enero de los períodos analizados.
- Se predice una mayor frecuencia de Períodos críticos para el desarrollo de la enfermedad durante la etapa de crecimiento vegetativo y tuberización de manifestarse condiciones semejantes a escenarios de emisión b2 para los años 2025 y 2030.

BIBLIOGRAFIA

(Gómez, G., & Rodríguez, J. (1989). *Pronóstico a corto plazo de A. solani en papa y tomate*. Informe resultado de investigación. Cod. 519-09-02, INISAV.

Altieri, M., & Nicholls, C. (2008). Los impactos del cambio climático sobre las comunidades campesinas y de agricultores tradicionales y sus respuestas adaptativas. *Agroecología* , 3:7-28.

- Castellanos, L. T. (2005). Modelación Matemática de *Alternaria solani* Sor. en papa en función de las variables meteorológicas y la edad del cultivo. Marzo. FITOSANIDAD.
- Collette, L., Hodgkin, T., Kassam, A., Kenmore, P., Lipper, L., Nolte, C., y otros. (05 de 2001). Ahorrar para crecer. *Guía para los responsables de políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola en pequeña escala*.
- De Schutter, O. (2010). *Informe del Relator Especial sobre el derecho a la alimentación. Promoción y protección de todos los derechos humanos, civiles, políticos, económicos, sociales y culturales, incluido el derecho al desarrollo. Tema 3 de la agenda. 20 de diciembre*. New York.: Consejo de Derechos Humanos. Asamblea General A/HRC/16/49.Distr. General. Organización de Naciones Unidas.
- FAO, O. d. (2012). *Crops statistics database*. . Recuperado el 05 de 10 de 2012, de <http://faostat.fao.org/>.
- Gómez, G. P., Pedroso, M. S., M. Figueroa, L., Castellanos, V. M., Pico, A., Hernández, I. S., y otros. (1999). Zonificación Bioclimática del Tizón Temprano (*Alternaria solani* Sor.) de la papa. FITOSANIDAD.
- Gómez, G., Rodríguez, J., Pedroso, A., Sarmiento, L., Castellanos, M. G., Álvarez, C. A., y otros. (1999). Modelo de Pronóstico de Tizón Temprano (*Alternaria solani* Sor.) en papa y tomate en Cuba. FITOSANIDAD.
- Hernández Mansilla, A., Córdova García, O., & López Mayea, A. (21,22,23 de 05 de 2008). Condiciones meteorológicas asociadas a la aparición de Tizón temprano (*Alternaria solani* Sor.) en el cultivo de la papa en Ciego de Ávila. *X Congreso Mundial Trichoderma y Gliocladium. VII Congreso Nacional de Fitopatología y II Congreso Nacional de Fitoprotección*. . San José de Costa Rica.
- IPCC. (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis*. Ginebra, Suiza: Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)].
- Mantecón, J. D. (09-10-11-12 de 2006). Pérdidas potenciales causadas por el tizón temprano de la papa (*Alternaria solani*) durante la última década. (No 17). Actualidad Papera. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria Año 5.
- Microsoft Excel. (2007). Microsoft Office 2007 para Windows. Microsoft. Comporation.
- Piña, A. (1979). *Estudio bioecológico y control de A. solani en papa*. Informe de investigación. INISAV.
- PRECIS CARIBE. (2010). *Proyectando el Cambio Climático en el Caribe con el Modelo Climático HADRMCM. Instituto de Meteorología. República de Cuba*. Obtenido de WEB PRECIS CARIBE: <http://precis.insmet.cu/datos.html>

ISBN: 978-9968-641-26-5

StatSoft, Inc. (2007). *STATISTICA (data analyses software system), version 8.0*.
Obtenido de www.statsoft.com

Stevenson, R. E., & Pennypacker, S. (1988). Effect of Radiation, Temperatura and Moisture in Conidial Germination of *A. solana* *Phytopathology*. 78 (7): 926-930.

The R Foundation for Statistical Computing. . (03 de 10 de 2007). *R-Climdex versión 2.6.0* . Copyright (C). Obtenido de <http://www.r-project.org/>

van der Waals, J. (21 de 03 de 2008). *Early blight of potatoes*. . Obtenido de Southern African Society for Plant Pathology. SASPP: <http://saspp.org/content/view/18/11/> o <http://www.snapsites.net>

Waggoner, P., & Parlage, J. (1974). Mathematical Model for Spore Germination at Changing Temperatura. . *Phytopathology* , 64 (1):325-329.

CC.3.O. Tendencias hacia condiciones hidrológicas más secas en Centroamérica (1982-2005)

Hugo G. Hidalgo (hugo.hidalgo@ucr.ac.cr)^{1,2}

¹Escuela de Física, Departamento de Física Atmosférica Oceánica y Planetaria;
Universidad de Costa Rica, Costa Rica

²Centro de Investigaciones Geofísicas; Universidad de Costa Rica, Costa Rica

RESUMEN

Se presenta un resumen de los resultados de proyecciones hidrológicas de 30 modelos de circulación general (MCG) a final de siglo y se analizan si varios parámetros hidrometeorológicos presentan tendencias (1982-2005) consistentes con las proyecciones de los modelos. Hacia final de siglo, la mediana de las 30 simulaciones de los MCG proyecta condiciones más secas en Tegucigalpa y San José, con un aumento de la evapotranspiración en la primera parte de la estación lluviosa y una reducción en la humedad del suelo. Con respecto a las observaciones de 1982-2005: las tendencias significativas en precipitación de diferentes fuentes de datos muestran resultados mixtos, en general las tendencias de datos de satélite y observaciones muestran tendencias negativas en la costa Caribe de Honduras y Nicaragua, mientras que los datos modelados del Reanálisis muestran tendencias en la parte norte de Centroamérica. Curiosamente, los datos de PDSI muestran tendencias hacia condiciones más secas en la parte norte de Centroamérica consistentes con las reducciones de precipitación sugeridas por el Reanálisis. Sin embargo, al analizar las tendencias de precipitación y temperatura de las bases de datos usadas en el cálculo del PDSI, sólo se encuentran tendencias moderadas y mayoritariamente no significativas en la parte norte de la región, lo cual sugiere que es la combinación de estas influencias moderadas las que resultan en una amplificación en términos del PDSI. Esto sugiere que hay que analizar con más cuidado las tendencias de precipitación mostradas por los modelos y los efectos en la hidrología de la región.

Palabras clave: Cambio climático, hidroclimatología, tendencias, hidrología, NDVI, PDSI, sequía

INTRODUCCION

Durante los últimos años ha habido gran interés en determinar las proyecciones climáticas para el siglo XXI usando Modelos (climáticos) de Circulación General (MCGs). Estos modelos han sido la herramienta seleccionada por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC en inglés) para estimar los climas futuros. Estas proyecciones se han usado con otros tipos de modelos locales como los de cambio de escala estadístico, los modelos climáticos de área limitada y modelos hidrológicos. De esta manera se busca determinar el potencial impacto en el clima y la hidrología del aumento en las concentraciones de gases de efecto invernadero.

[En particular en este estudio, se hará referencia a las proyecciones hidrológicas para Centro América de Hidalgo et al. (2013), el cual provee estimaciones de escorrentía para 30 MCGs para el período 1950-2099. Estas proyecciones indican que, para el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero A1B, Centroamérica va a experimentar reducciones en la escorrentía del orden de 10% para la parte sur (Costa Rica y Panamá) y de 30% para el resto de los países en la parte norte de Centroamérica. Usando datos del NCEP/NCAR Re análisis (Kalnay, y otros, 1996), en Hidalgo et al. (2013) se encontró además que durante el período 1980-2012 San José y Tegucigalpa han experimentado tendencias negativas significativas en la escorrentía de 1980-2012. En el presente trabajo se va a hacer un resumen de los resultados obtenidos por Hidalgo et al. (2013) y se va a verificar las tendencias durante 1982-2005 en varias bases de datos. El objetivo es detectar si las tendencias proyectadas para el final de siglo son consistentes con tendencias observadas durante los últimos años, lo cual implicaría que la señal de cambio climático en las observaciones está empezando o no a ser evidente.

FUENTES DE DATOS

El Índice Normalizado Diferencial de Vegetación para el período 1981-2006 fue obtenido del Global Inventory Modeling and Mapping Studies (GIMMS; (Pinzon, Brown, & Tucker, 2005); (Tucker, y otros, 2005) en una resolución de 0.073 x 0.073 grados.

Los datos de precipitación del Reanálisis del NCEP/NCAR (Kalnay, y otros, 1996) para el período 1948-2012, del Global Precipitation Climatology Project (GPCP; (Adler, y otros, 2003). versión 2.2, de CPC Merged Analysis of Precipitation (CMAP, (Xie & Arkin, 1997), y de temperatura a 2 metros de GHCN CAMS de 1948 a 2012 (Fan & van den Dool, 2008) fueron obtenidos de NOAA/OAR/ESRL PDS, Boulder, Colorado, Estados Unidos, de su sitio de internet: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/>. Los datos de precipitación del Reanálisis son modelados. Los datos de GPCP son una combinación de información de satélites y estaciones de precipitación, disponibles desde enero de 1979 a mayo 2013. Los de CMAP son datos de satélite disponibles de enero del 1979 a noviembre 2011. La resolución espacial de todas las bases de datos es de 2.5 x 2.5

grados, excepto la precipitación del Reanálisis que es de 1.90 x 1.90 grados y la de CAMS es de 0.5 x 0.5 grados.

Otra base de datos de precipitación en una resolución de 0.5 x 0.5 grados sobre tierra por Chen et al. (2002) fue obtenida de NOAA. Estos datos son construídos por interpolación de estaciones de precipitación para el período 1948-2011. Las observaciones provienen de más de 17 000 estaciones obtenidas de las bases de datos: Global Historical Climatology Network (GHCN), versión 2, y de Climate Anomaly Monitoring System (CAMS).

Otra base de datos de alta resolución (0.05 x 0.05 grados) sobre la tierra en Centroamérica de 1970-2004 fue obtenida de Pedreros et al. (2010). Los datos son el resultado de la combinación de Famine Early Warning System Climatology con existentes estaciones para cada mes.

El Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI en inglés), un índice hidrológico calculado a partir de la precipitación y temperatura fue obtenido de Dai et al. (2004). Aunque los datos están disponibles de 1870-2005, la zona de Centroamérica no tiene datos tan antiguos. Se utilizó el período 1982-2005 para las estimaciones de tendencias. Los datos están en una resolución espacial de 2.5 x 2.5 grados.

Temperatura del CRUTEM2 (Jones & Moberg, 2003) fue obtenida de <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/tem2/> en una resolución de 5 x 5 grados de 1851 a 2005. Esta base de datos, junto con la de precipitación de CHEN fueron usadas para el cálculo del PDSI.

RESULTADOS

En Hidalgo et al. (2012) se encontró que las proyecciones hidroclimáticas a final de siglo sugieren un futuro más seco para Centroamérica, especialmente en la parte norte. En la Figura 1, se muestran las climatologías de temperatura, precipitación y escorrentía para Tegucigalpa (Honduras) y San José (Costa Rica) para dos períodos determinados: 1950-1999 (escenario base), y 2050-2099 (escenario de cambio climático). Comparado con el escenario base, en el clima futuro son evidentes los aumentos en temperatura en ambas ciudades, las reducciones en precipitación durante la época lluviosa y la amplificación de estas reducciones en precipitación en la escorrentía. Las reducciones en escorrentía son especialmente fuertes durante la primera parte de la época lluviosa (junio-julio-agosto) para ambas ciudades pero más fuertemente en Tegucigalpa. De hecho aunque ambas ciudades tienen una mayoría de corridas (27 de 30) de MCGs con tendencias negativas (1950-2099) en su índice de aridez, en Tegucigalpa las tendencias son lo suficientemente altas que el clima pasa de ser mayoritariamente húmedo en 1950 a seco sub-húmedo al final de siglo (Figura 2).

En Hidalgo et al. (2012) también se mostró que usando el Reanálisis de NCEP/NCAR para el período 1948-2012, en lugar de los MCGs, Tegucigalpa y San José mostraron tendencias significativas en escorrentía hacia condiciones más secas durante el período 1980-2012. El aumento en la señal antropogénica en el clima durante este período se ha mencionado en otras partes del mundo (Barnett, y otros, 2008), (Meehl, Arblaster, & Tebaldi, 2007). Estas tendencias “observadas” son consistentes con las proyecciones de los MCGs, pero en general su intensidad tiende a ser sobre-estimada con respecto a la distribución de tendencias de los MCGs durante el mismo período.

En el presente trabajo se evaluaron diferentes bases de datos de precipitación con relación a sus tendencias durante 1982-2005 con el propósito de determinar si existen o no tendencias en la lluvia consistentes con las tendencias en la escorrentía encontradas en Hidalgo et al. (2013) y consistentes con las proyecciones de los MCGs. Deben anotarse, sin embargo, las siguientes limitaciones en el estudio: 1) debido a falta de datos, el período que se usó en las tendencias de precipitación (1982-2005) no es exactamente el mismo período en las tendencias en escorrentía de Hidalgo et al. (2013) que fue de 1980-2012; 2) Se espera que las tendencias en escorrentía tengan una relación con las tendencias en precipitación, ya que a nivel anual los dos parámetros están correlacionados; sin embargo, hay que notar que los aumentos en temperatura podrían también causar aumentos en la evapotranspiración y fomentando reducciones en la escorrentía. Por esa razón se analizaron también las tendencias del PDSI, que involucra en su cálculo precipitación y temperatura; y 3) Se eligió este período porque se supuso que es una época en la cual el cambio climático antropogénico tiene gran influencia en el clima, sin embargo por ser un período relativamente corto es posible que sea afectado por forzantes climáticos naturales de orden multidecadal.

Las tendencias de precipitación de diferentes bases de datos, muestran resultados mixtos (Figura 3). Mientras que las bases de satélites (GPCP y CMAP) y la base de datos de CHEN sugieren tendencias negativas de precipitación en la costa Caribe de Nicaragua, el Renálisis sugiere tendencias negativas en la parte norte de Centroamérica (Guatemala, Belice y el Sur de México). La base de datos de Pedreros sugiere tendencias negativas en la costa Caribe de Honduras, cerca de la frontera con Nicaragua y tendencias positivas en la costa Caribe de Costa Rica. Con la salvedad del Reanálisis, no se podría justificar completamente la reducción de escorrentía en el norte de Centroamérica consistentes con las proyecciones de escorrentía en Hidalgo et al. (2012), únicamente con reducciones en la precipitación. Por otra parte, las tendencias en el PDSI (Figura 4) parecen justificar los cambios hidrológicos hacia condiciones más secas en Centroamérica, especialmente fuertes en la parte norte. Sin embargo, cabe mencionar lo siguiente: el PDSI fue calculado con las bases de datos de CHEN para precipitación y CRUTEM2 para temperatura. Si se ven las tendencias significativas en precipitación (Figura 3) y temperatura (Figura 4) para estas dos bases de datos, se ve que es difícil predecir toda la extensión de la reducción en el PDSI especialmente en el norte de Centroamérica solamente con las reducciones en precipitación y los aumentos en la temperatura *significativos*. En el norte de Centroamérica, CHEN muestra reducciones en la precipitación (no mostradas) y aumentos en la temperatura que *no* son significativas (no mostradas) pero que están resultando en una combinación de tendencias de PDSI negativas. Estos efectos hidrológicos representados en el PDSI,

más que solamente moderadas reducciones en la precipitación, parecen estar amplificadas por las tendencias moderadas positivas de temperatura en gran parte de la región norte de Centroamérica y en el Caribe nicaragüense. En cuanto al NDVI (Figura 4), se encontró indicios de afectación en la vegetación en la frontera de Guatemala con México, en la costa Pacífica de México y en la costa Caribe de Honduras (cerca de la frontera con Nicaragua), pero la señal no es todavía muy extendida. Esto puede deberse a que la vegetación tarda un poco en responder, o que los cambios hidrológicos observados todavía no son lo suficientemente fuertes para causar daños severos en la vegetación.

CONCLUSIONES

El índice hidrológico PDSI presenta tendencias hacia condiciones más secas en Centroamérica con patrones consistentes a los esperados en las proyecciones para finales del siglo XXI de Hidalgo et al. (2012). Sin embargo, los datos de tendencias de precipitación de diferentes fuentes son poco consistentes. En particular los datos del Reanálisis, que son modelados, muestran una tendencia hacia condiciones más secas en la parte norte de la región, mientras que el resto de las bases de datos muestran estas tendencias en el Caribe de Nicaragua y Honduras. Cabe mencionar que esta es una observación que se debe tomar en cuenta a la hora de analizar las proyecciones de los modelos climáticos de Hidalgo et al. (2012): si los modelos como el Reanálisis y los MCGs tienden a generar condiciones más secas en el norte Centroamericano de manera poco realista, esto podría estar afectando las proyecciones futuras del clima. Por otra parte, las estimaciones de PDSI son congruentes con las tendencias hacia condiciones hidrológicas en el norte sugeridas por los modelos. Los resultados de las tendencias del PDSI sugieren que los cambios hidrológicos observados no son producidos necesariamente por reducciones moderadas en la precipitación, sino también que la combinación con los cambios moderados en la temperatura pueden estar causando reducciones en la escorrentía a través de aumentos en la evapotranspiración. Esto es importante porque sugiere que la señal de cambio climático en la región está modulada fuertemente por la superficie terrestre, y que deben considerarse esa contribución, además de los efectos meteorológicos (precipitación y temperatura). Debido a la falta de datos hidrológicos de escorrentía y humedad del suelo, es necesario el uso de modelos hidrológicos para lograr estimar el verdadero efecto del cambio climático en la región. Los resultados del presente estudio y de Hidalgo et al. (2013) deben servir de guía para un manejo adaptativo de planeamiento acerca del cambio climático y sus impactos en diversos sectores.

BIBLIOGRAFIA

- Adler, R., Huffman, G., Chang, A., Ferraro, R., Xie, P., Janowiak, J., y otros. (2003). The Version 2 Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Precipitation Analysis (1979-Present). *J. Hydrometeorology*, 4, 1147-1167.
- Barnett, T., Pierce, D., Hidalgo, H., Bonfils, C., Santer, B., Das, T., y otros. (2008). Human-induced changes in the hydrology of the western US. *Science*, 319: 1080-1083.
- Chen, M., Xie, P., Janowiak, J. E., & Arkin, P. A. (2002). Global Land Precipitation: A 50-yr Monthly Analysis Based on Gauge Observations. *J. of Hydrometeorology*, 3, 249-266.
- Dai, A., Trenberth, K., & Qian, T. (2004). A global data set of Palmer Drought Severity Index for 1870-2002: Relationship with soil moisture and effects of surface warming. *J. Hydrometeorology*, 5, 1117-1130.
- Fan, Y., & van den Dool, H. (2008). A global monthly land surface air temperature analysis for 1948-present. *J. Geophys. Res.*, 113, D01103,.
- H.G, H., Amador, J., Alfaro, E., & Quesada, B. (2013). Hydrological climate change projections for Central America. . *Journal of Hydrology*. , 495: 94-112.
- Jones, P. D., & Moberg, A. (2003). Hemispheric and large-scale surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2001. *J. Climate*, 16, 206–223.
- Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., y otros. (1996). The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. . *Bull. Amer. Meteor. Soc.*
- Meehl, G., Arblaster, J., & Tebaldi, C. (2007). Contributions of natural and anthropogenic forcing to changes in temperature extremes over the United States. . *Geophysical Research Letters*. L19709,.
- Pedrerros, D., Michaelsen, J., Funk, C., Carvalho, L., Alfaro, E., Husak, G., y otros. (12 de 2010). The effects of El Niño on Agricultural Water Balance in Guatemala. . *American Geophysical Union, Fall Meeting*.
- Pinzon, J., Brown, M., & Tucker, C. (2005). Satellite time series correction of orbital drift artifacts using empirical mode decomposition. En N. Huang (Ed.), *Hilbert-Huang Transform: Introduction and Applications* (págs. 167-186.).
- Tucker, C., Pinzon, J. E., Brown, M. E., Slayback, D., Pak, E. W., Mahoney, R., y otros. (2005). An Extended AVHRR 8-km NDVI Data Set Compatible with MODIS and SPOT Vegetation NDVI Data. *International Journal of Remote Sensing*, Vol 26:20, 4485-5598.
- Xie, P., & Arkin, P. (1997). Global precipitation: A 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and.

CC.4.O. Restauración Ecológica del sitio Ramsar N° 878 (Reserva Nacional El Yali, litoral Chile central) afectado por el tsunami local de 2010: efectos del cambio climático y sensibilización de la comunidad

Verónica Meza Ramírez¹, Pablo De Kartzow Sánchez¹, Manuel Contreras
López^{1,2},

Cecilia Rivera Castro^{2,3}, Christian Jofré Pérez⁴, Rodrigo Figueroa Sterquel⁵,

Eduardo Quiroga Jamett⁶, Gonzalo Bustillos Portales¹

¹Facultad de Ingeniería, Universidad de Playa Ancha, Chile, E-mail:
veronica.meza@upla.cl, Fono: +56(32)2205917

²Centro de Estudios Avanzados, Universidad de Playa Ancha, Chile

³Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Playa Ancha, Chile

⁴Campus San Felipe, Universidad de Playa Ancha, Chile

⁵Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile

⁶Escuela de Ciencias del Mar, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso,
Chile

INTRODUCCION

La restauración ecológica se ha convertido en un mecanismo de adaptación al cambio climático a través de su instrumentación en la mejora de la resiliencia de humedales costeros insertos en áreas protegidas. En el presente trabajo se ilustra la relación de diferentes análisis (geológico, geográfico, calidad de aguas, sedimentos, diversidad de flora, estado de la comunidad de anfibios, diversidad de aves y forzantes físicos entre otros) que permiten conformar un modelo conceptual de identificación de los elementos principales a ser implementados en el Complejo de humedales El Yali (33°45'S). Este complejo es extremadamente vulnerable a los efectos del cambio climático: es esperable encontrar alteraciones por el cambio de régimen hídrico modulado por precipitaciones, modificación de la temperatura ambiente y alteraciones en la zona costera por el alza del nivel medio del mar, lo que junto a las presiones antropogénicas, ponen en riesgo su sustentabilidad a largo plazo.

El Yali, es parte de una compleja red de desembocaduras y lagunas costeras del centro de Chile (figura 1), que son algunos de los ecosistemas más dinámicos del país,

condicionados por una gran variedad de factores naturales y antrópicos, transformándolos en sistemas valiosos desde un punto de vista ambiental y humano. Según lo señalado por Cienfuegos *et al.* (2012), la diversidad de estas zonas se debe principalmente al complejo conjunto de parámetros que los definen; desde la variabilidad hidrológica y climática, la heterogeneidad de sus cuencas, el alto contenido energético de sus costas, la disímil disponibilidad anual de sedimentos, entre otros factores. Estos parámetros presentan una combinación particular, incluso a nivel mundial, asimilándose sólo a algunos sectores de Sudáfrica, Australia o Nueva Zelanda. Otros factores que deben considerarse como condicionantes de la gran sensibilidad de estos sistemas, son las características sísmicas chilenas que frecuentemente generan cambios morfológicos mayores en los sectores costeros.

El Yali se compone de 14 cuerpos de agua dispersos en 11500 hectáreas, los que muestran una gran heterogeneidad hidroquímica y una elevada riqueza de avifauna marina nativa y visitante. Un poco más del 4% de la superficie total se encuentra protegido con el carácter de Reserva Nacional y sitio Ramsar desde 1996. Este lugar fue severamente afectado por el tsunami del año 2010 (figura 2) y hay evidencias de fuertes presiones antrópicas, especialmente de la agricultura; sumado a la fragilidad frente a los efectos del cambio climático contemporáneo en una zona costera. El alza del nivel medio del mar, la modificación en el oleaje incidente, las alteraciones en el ciclo hidrológico y el cambio en el régimen de temperatura ambiente son algunos de los principales factores que afectan a esta área protegida y sus ecosistemas circundantes. Se estima que el alza del nivel medio del mar para el litoral donde se encuentra emplazado El Yali, no es superior a 2 mm/año (Contreras, Winckler, & Molina, 2012).



Figura 8 Localización de la Reserva Nacional El Yali (33°45'S; 71°43'W) en el sur de la región de Valparaíso. Se señalan las localidades del entorno afectadas por el tsunami del año 2010 y las desembocaduras de los ríos Rapel (33°54'S; 71°49'W) y Maipo (33°37'S; 71°38'W) cuyas cuencas delimitan el sistema de humedales El Yali. Fuente: Adaptación de Google Maps.

Al analizar los factores que intervienen en la dinámica de los humedales, es posible mencionar que estos ecosistemas presentan una gran sensibilidad al ser afectadas sus variables, siendo también resilientes, sin embargo la magnitud de cambio de los factores involucrados provocaría alteraciones leves o permanentes. No pueden quedar fuera de análisis:

1. Efecto producido por cambio climático en donde los episodios de mayor temperatura, provocarían mayor evaporación de agua del espejo y mayor transpiración por parte de las especies vegetales predominantes. En este punto se puede ejemplificar efectos de variabilidad climática que sirven como ventanas en el tiempo de futuros escenarios de cambio climático, como es el caso del fenómeno El Niño - Oscilación del Sur, ENOS (Arntz & Farhbach, 1996), que en el año 2010, provocó una sequía prolongada por efecto de influencia de “La Niña”, durante 2010 y 2011. Lo anterior se ve reforzado al considerar las características ecológicas singulares de los humedales costeros, sumadas a su vulnerabilidad y al alto grado de amenaza por parte de actividades humanas, pues más de un 10% de la población vive a menos de 10 m del nivel del mar (McGranahan, Balk, & Anderson, 2007), los ha puesto en el foco de los esfuerzos de conservación para asegurar la sustentabilidad de los servicios que prestan, especialmente en un contexto donde se conjugan una serie de aspectos que los hacen particularmente sensibles, como: a) la perspectiva para estos ecosistemas en un escenario de cambio climático no es alentadora, b) poseen alto grado de deterioro, c) son ecosistemas relativamente raros, pues representan menos del 9% de la superficie global (Marquet, Abades, & Barria, 2012).

2. Como importante variable de entrada, se puede mencionar que el sedimento aportado por el río Rapel mostrado en la figura 5 (Paskoff & Manríquez, 2004), actualmente no existe dado que se encuentra represado desde el año 1968. Otros aportes como el estero El Yali y el río Maipo son marginales en dicha playa.

3. Los efectos del tsunami 2010, que reiniciaron todos los equilibrios hidrodinámicos del sector, lo que incidió o volvió a fijar nuevas condiciones en el sistema. El movimiento cosísmico fue de carácter vertical, lo que provocó el hundimiento de la tierra entre 13 a 20 cm (Quezada, Jaque, Fernández, & Vásquez, 2012), causando un cambio en la línea de la costa de aproximadamente 20 metros de desplazamiento hacia el continente desde el océano.

4. Cambio en la dirección de donde proviene el oleaje del Sur Este, el cambio es de 0,6° al Sur, también debiera afectar la dinámica del humedal, especialmente la playa de arena, sus dunas y la barra estuarina, modificando los equilibrios hidrodinámicos (Molina & Contreras, 2012).

5. Los efectos del viento local o brisa marina superficial que influyen tanto en la dinámica de reconstrucción de las dunas costeras, como los movimientos de aves nativas y migratorias.

6. Por último, es importante señalar que las modificaciones de las zonas climáticas afectan también la elección de los cultivos, lo que indirectamente genera una presión

adicional a estos humedales, al modificar los requerimientos hídricos por las nuevas plantaciones (Magrín, 2008). En particular, en los últimos años se aprecia la aparición de cultivos de paltas y frutillas en la comuna de Santo Domingo.

METODOLOGIA

Entre diciembre de 2012 y julio de 2013 se realizaron diversas campañas de registro de datos en terreno. En dichas campañas se recabaron datos sobre los medios abióticos, bióticos y sociales. El diagnóstico del medio abiótico se realizó desde cuatro aspectos convergentes para analizar los equilibrios hidrodinámicos del sistema humedal El Yali: a) calidad de los cuerpos de agua, b) aspectos del ciclo hidrológico, c) suelos d) forzantes físicos marinos. Para el diagnóstico del medio biótico, se realiza un análisis de la flora identificando las especies presentes y comparando con lo informado en el plan de manejo de la reserva. La fauna es analizada separadamente debido a la importancia de algunos grupos: fauna exótica, mamíferos, avifauna, entomofauna. En un acápite separado se trata la fauna amenazada por el cambio climático, ictiofauna y batracofauna.

Para la caracterización de los habitantes y las actividades productivas aledañas a la reserva se aplicó una encuesta dirigida a los lugareños que consultaba los siguientes aspectos:

- Caracterización del Entrevistado: Edad, Dirección, Celular, Correo electrónico, Permanencia en el humedal (residencia habitual, temporal o esporádica (sólo fines de semana y feriados, o período estival).
- Percepción de fortalezas y debilidades del humedal: Existe control de ingreso al Humedal (si/no), Existe regulación de loteos (si/no), Existe conciencia de su importancia (si/no), Hay control adecuado sobre las actividades al interior del Humedal (si/no), Otras (detallar).
- Percepción de amenazas y oportunidades del humedal: Existencia de actividades económicas al interior del humedal (pastoreo de animales, Extracción de leña, pesca, caza, cultivos), Existencia de actividades deportivas al interior del humedal (jeepeo en dunas, buceo, sky Acuático, katebord o Kitesurf, excursionismo, camping), Tráfico de vehículos y/o Personas (camino interiores no autorizados, senderos interiores no autorizados, tráfico carretero sin control de velocidad, tráfico carretero sin control del tipo de carga), Hay control adecuado sobre las actividades al exterior del Humedal (si/no), Otra(s) amenaza(s) y/o oportunidad(es) (detallar)
- Compromisos en el caso de existir propuesta de restauración: ¿Está en conocimiento de la normativa general respecto de Áreas Protegidas? (si/no), ¿Está dispuesto(a) a participar en cooperación con otros usuarios/propietarios? (si/no)
- ¿Está dispuesto(a) participar en cooperación con autoridades competentes (CONAF, MMA, SERNAPESCA, otros) (si/no)



Figura 9 Área de inundación estimada (línea continua blanca) para la madrugada del 27 de febrero de 2010 en el arco de playa de 10 km de longitud que va desde los 33°45'56"S a los 33°43'44"S, la superficie corresponde a 840 hectáreas aproximadamente. Se señala el área protegida correspondiente a la reserva nacional (línea punteada negra).

Se logró entrevistar a 13 vecinos de la reserva, que representan el 1,5% de la población del sector El Convento y Las Salinas, de manera que aun cuando el número de entrevistados es bajo, alcanza a tener una representación estadística.

Para realizar la caracterización de los visitantes al humedal se tomó como base el libro de visitas que mantiene CONAF en la administración de la reserva desde el año 2004, digitalizándose la información hasta diciembre del año 2012. En cada año se consignó: número de visitas realizadas, número de visitantes (el cual debe considerarse como un valor mínimo pues no siempre se consigna el total de personas que componen una visita), el número de visitas que incluyen extranjeros (el que también debe ser considerado como una cota mínima pues existe la posibilidad que un extranjero no se identifique); el tipo de visita (realización de un servicio o actividad laboral de alguna institución, realización de alguna actividad de investigación, turismo nacional, turismo internacional, labor de fiscalización o una visita de carácter educativo).

Los resultados de las campañas de terreno y el análisis de la encuesta y el libro de visitas fueron socializados y discutidos con diferentes funcionarios de servicios públicos vinculados con la reserva, tales como la municipalidad, la autoridad marítima, CONAF, Ministerio del Medio Ambiente, Servicio Nacional de Turismo, Servicio Agrícola y Ganadero, entre otros.

RESULTADOS Y DISCUSION

Entre los parámetros registrados destacan los altos valores de pH en todos los cuerpos de agua, que estuvieron en el rango entre 8.4 - 9.5 correspondiendo el menor valor a la estación desembocadura del estero El Yali. En tanto, los mayores valores fueron encontrados en los tres puntos muestreados en laguna La Matanza y en la estación en el centro del estero. Se observa un valor promedio de 9.0 en general para el Complejo de Humedales El Yali, lo que puede explicar los bajos valores de coliformes totales, los que fluctuaron entre 0.0 – 130.0 NMP/100mL con una media de 25.1 NMP/100mL correspondiendo el menor valor para laguna Colejuda y laguna La Matanza centro y el valor más alto para laguna La Matanza, seguido de laguna Cabildo con 33.0 NMP/100mL. La media obtenida para coliformes fecales fue de 11.0 NMP/100mL, en un rango de 0.0 - 33 NMP/100mL, observándose el valor más alto para laguna Cabildo, pese a los elevados valores de coliformes detectados en el estero Las Rosas. La explicación de esto descansa en la salinidad presente en la laguna La Matanza y su alto valor de pH, que elimina eficientemente la carga de coliformes provenientes del estero Las Rosas y la contribución de los más de 20000 individuos de aves censados en la Reserva, muchos de los cuales realizan sus deposiciones en este cuerpo de agua. De esta forma las particulares características físico-químicas de la columna de agua de la laguna La Matanza permiten su resiliencia frente a las presiones tanto antrópicas como del ecosistema mismo.

En la subcuenca del estero Las Rosas como del estero El Yali, se encontraron intervenciones de distinta índole en los cursos de agua. Las principales intervenciones están relacionadas con riego de frutales (plantaciones de frutillas y paltos).

El área de la reserva presenta una formación de matorral esclerófilo costero, formación de carácter secundario, resultado del deterioro sufrido por el ambiente tras la intervención humana. En los pequeños valles y en los lugares menos alterados se encuentran asociaciones típicas de los bosques esclerófilos. Las asociaciones vegetacionales más representativas son *Acacia caven* – *Maytenus boaria* (espino – maitén), y *Baccharis linearis* – *Plantago hispidula* (romerillo – llantén). Además de las comunidades nativas, el paisaje local está bastante modificado con plantaciones de especies introducidas. La presencia de especies exóticas principalmente *Eucalyptus globulus* (eucalipto) y *Pinus radiata* (pino), generan la disminución de la diversidad de la flora ya reflejado en estudios anteriores. Las plantaciones que se encuentran al interior de la reserva, especialmente eucalipto, con altas densidades y un mayor número de varas por árbol de lo recomendado, limitan las posibilidades de regeneración natural. Las especies forestales plantadas en la zona de la reserva han tenido éxito en contener las dunas desde finales del siglo XIX y comienzos del XX (Albert 1900), pero las áreas con plantación densa presentan una baja diversidad y especialmente el eucalipto se está expandiendo hacia áreas muy sensibles como pajonales y bordes de la laguna La Matanza donde se presenta una colonización de renuevos de esta especie, generando una mayor presión, dada su alta demanda de agua.

En la zona adyacente al área protegida se han producido cambios en el uso del suelo que estarían generando una mayor demanda de recursos hídricos, aumentando las

áreas de cultivos de frutales y la construcción de nuevas viviendas, intensificando la presión sobre los recursos hídricos. El estado de conservación de las especies vegetales del sector muestra que más de un 50% está fuera de peligro, este tramo está compuesto por especies que se adaptan fácilmente a los cambios del sector. Aun así, hay un porcentaje menor pero importante de especies que están en estado vulnerable, y también en peligro. De acuerdo al estudio realizado, la flora presenta como principales elementos de interés, la dominancia de especies de origen nativo, y dentro de ellas, 4 especies vulnerables y 2 en peligro de extinción. Pero, por otro lado, existe un amplio espectro biológico de flora advena, de más de un 40%, flora que se debe manejar para no provocar alteraciones en el ambiente natural.

La riqueza faunística del humedal El Yali estaría representada por 209 taxa de invertebrados y vertebrados, de los cuales 199 taxa se han reportado a nivel de especies y los otros 10 taxa sólo se ha logrado su identificación a nivel de géneros. Dentro de este ensamble faunístico, 142 especies tienen un origen biogeográfico nativo. Para 23 especies se reconoce un carácter de “visitante”, mientras que para 18 taxa su condición es “endémica” (exclusiva dentro de los límites del territorio). Se reconoce la presencia de especies exóticas introducidas (9% del total de taxas reportadas en el humedal). Durante la presente investigación se constató la presencia, dentro de la Reserva Nacional El Yali, de cinco especies de vertebrados exóticos introducidos: el conejo europeo, la rata noruega o guarén, el caballo feral, el perro feral y el sapo africano de uñas. Para el 72% de los taxa no se define su grado de amenaza.

Los vertebrados terrestres y acuáticos estarían representados por 197 especies. El grupo de los peces (n=11 spp.) incluiría mayoritariamente especies dulceacuícolas. El 45% de estos taxa es nativo; tres especies son endémicas y dos son exóticas. Para seis especies se desconoce su categorización de conservación, a excepción de cinco taxa que son consideradas como vulnerables. Los reptiles del humedal El Yali estarían representados por ocho especies. La familia Tropiduridae, que incluye a las lagartijas, sería la más importante. Cuatro especies de lacertidios tendrían carácter endémico y dos especies corresponderían a elementos nativos.

El litoral de Chile central es parte de una importante ruta migratoria en las Américas que une los dos hemisferios, que se encuentra sustentada por un corredor de más de 400 humedales costeros emplazados en Chile central (30°S - 41°40'S), los que conforman un verdadero corredor ecológico para las aves, sirviendo de lugares de reaprovisionamiento temporal, descanso, reproducción y anidación. En la laguna La Matanza se reconocen dos especies de aves visitantes importantes (El Pato Gargantillo, *Anas bahamensis*, y el Pato Real, *Anas sibilatrix*). Estas aves presentan una gran coherencia en su presencia en este cuerpo de agua, estando presentes o ausentes de forma simultánea. Se observa un explosivo aumento del número de individuos durante el año 2012, alcanzado rangos de 70 individuos para cada especie.

En laguna Colejuda se reconocen 5 especies de aves visitantes, los cuales aparecen en primavera. Sin embargo se aprecia como los extensos períodos de sequía de este cuerpo de agua en los últimos 3 años ha afectado el número de aves presentes. Algo similar ocurre con las especies residentes. Sin embargo se aprecia que aunque se

tiende a conservar el número global de individuos de esta laguna, el número de especies que fluctúa estacionalmente tiende a disminuir.

Uno de los visitantes más emblemáticos de la Albufera es la gaviota Franklin, que aparece normalmente en la época estival. Se observa que el período de permanencia en la reserva ha disminuido aunque también ha aumentado el número de individuos visitantes censados. La disminución en el período de permanencia puede ser un efecto de la pérdida de las dunas de protección costera. Se muestra la evolución del número de especies en la Albufera, donde se observa la dramática disminución ocurrida durante el año 2012 producto del tránsito de motos y vehículos por el entorno, después de la pérdida de las dunas costeras.

Como resultado de la aplicación de la encuesta a los vecinos, las principales fortalezas y debilidades del humedal que identifican los lugareños son (transcripciones literales): "Maravilloso y aves varias", "Se está muriendo por AGROSUPER está contaminado Matanzas, Los Molles, Yali Colejuda sin vegetación", "Estima deben vivir más personas en el lugar es muy solo", "Mejorar acceso a la playa. CONAF y Superpollo (AGROSUPER) deslindan responsabilidades. Que no se termine la agricultura y ganadería", "Ingreso ya que se tienen que devolver a Santo Domingo a CONAF (seguramente se refiere a los visitantes a la reserva que deben solicitar ingreso con 48 horas de anticipación)", "No hay conciencia porque sacan mucha agua. CONAF no da permiso para nada. Camino a la playa", "Habría loteo abajo Los Molles que estaría sin regulación", "Mucha restricción para entrar", "Charlas a los niños en los colegios y a la comunidad por parte de CONAF. No han integrado a los adultos de manera adecuada", "Extracción ilegal de madera. Caza furtiva"

Mayoritariamente los entrevistados coinciden en que: Existe un control adecuado para el ingreso al humedal (69%), existe una regulación adecuada sobre los loteos de terrenos vecinos a la reserva (54%), existe conciencia de la importancia de la reserva (69%) y hay un control adecuado sobre las actividades al interior del humedal (69%). En la tabla I se resumen los resultados de la percepción ciudadana sobre las fortalezas y debilidades del humedal.

Fortalezas	Si	No	No Responde
1. Existe control de ingreso al humedal	9	4	0
2. Existe regulación de loteos	7	2	4
3. Existe conciencia de su importancia	9	3	1
4. Hay control adecuado sobre las actividades al interior del humedal	9	2	2

Tabla 3 Percepción ciudadana de fortalezas y debilidades del humedal El Yali. Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la percepción de amenazas y oportunidades del humedal (tabla XX), el 54% de los consultados identifica como problema el pastoreo de animales. También, con un 54%, se identifica el tráfico carretero sin control de velocidad. Los principales

problemas y oportunidades declarados son (transcripciones literales): "Caballos y robos a residencias", "Caballos de AGROSUPER, acceso libremente humedal peatonalmente, amenaza vehículo por reproducción de aves, perros zorreros y perdigones", "Reuniones informativas de CONAF para el bien del sector", "Caballos", "Que la comunidad no se vea afectada en las siembras y animales que tienen. Con esta condición cooperaría", "1. Debiera haber control de vehículos que ingresan al sector. 2. Reten móvil de carabineros. 3. Cooperación con reuniones previas de las juntas de vecinos y adultos mayores", "No hay control de carabineros en el camino", "Agua muy sucia sin mantención", "Uso mayor del humedal para la comunidad como recurso turístico".

Al consultar sobre el compromiso ante propuestas de restauración, el 69% declaró no encontrarse en conocimiento de la normativa general respecto de las áreas protegidas como la Reserva Nacional. El 69% declaró estar dispuesto a participar en cooperación con otros usuarios de la reserva o propietarios vecinos al humedal. Por último, el 77% declaró encontrarse dispuesto a participar en colaboración con autoridades competentes (CONAF, MMA, SERNAPESCA) para la restauración de la reserva.

En la tabla III se muestran los resultados de la caracterización de los visitantes a partir del libro de visitas. En un año normal se espera la realización de unas 150 visitas, con un total de 1700 visitantes. Aproximadamente 30 visitas son constituidas por extranjeros y la mitad de las visitas tiene el propósito de turismo o el avistamiento de aves. El otro 50% de las visitas es constituido por actividades de los servicios, investigación o visitas educativas de cursos. Las instituciones que normalmente visitan a la reserva son: CONAF, SAG, I.M. Santo Domingo, Museo de San Antonio, SERNAPESCA, Gobernación Marítima de San Antonio, Carabineros, DGA, MOP, Fundación Chile, UNORCH, CORFO, PDI, SERNATUR, Ministerio de Bienes Nacionales, ROC, Escuela de Ingenieros del Ejército. Las Universidades o centros de investigación que visitan regularmente a la reserva son: Pontificia Universidad Católica de Chile, Universidad de Playa Ancha, Universidad de Chile, Universidad de Concepción, Centro de Estudios Ambientales. Las instituciones que realizan actividades educativas en la reserva son: Museo de San Antonio, varios colegios de San Antonio y Santo Domingo, DUOC - Santiago, AGROSUPER, y varias universidades privadas; Universidad Santo Tomas, Universidad Nacional Andrés Bello y el AIEP, Universidad del Pacífico, Universidad Mayor. Se puede observar que las cuatro universidades tradicionales que actúan sobre la reserva, lo hacen sólo en actividades de investigación; en cambio las 6 instituciones de educación superior privadas que visitan a la reserva, sólo lo hacen con fines educativos.

Se observa que en general el número de visitas mantiene un crecimiento lineal, sólo experimentando un descenso durante los años 2010 y 2011, debido al cierre de la reserva por algunos meses debido a los efectos del tsunami y la disminución de las visitas en la época estival del año 2011 y de actividades de investigación durante el invierno de dicho año. Sin embargo, el número de visitas recuperó niveles normales de crecimiento en el año 2012. Con respecto al número de personas visitantes, también se puede observar un incremento, pero dicho valor experimenta fluctuaciones y contiene errores debido a que no siempre se consigna el total de personas que componen una visita a la reserva. Se destaca que durante el año 2010 y 2011 el número de visitantes

creció significativamente mientras el número de visitas disminuía, esto significa que en varias ocasiones las visitas se componían de grupos numerosos, por ejemplo cursos enteros de estudiantes que se dedicaron a las labores de limpieza en el terreno de playa.

1. Existencia de Actividades Económicas	Si	No	No Responde
1.1. Pastoreo de animales	7	4	2
1.2. Extracción de leña	4	7	2
1.3. Pesca	2	10	1
1.4. Caza	3	9	1
1.5. Cultivos	1	12	0
2. Existencia de actividades deportivas al interior del humedal			
2.1. Jeepe en dunas	4	8	1
2.2. Buceo	0	12	1
2.3. Sky Acuático	0	12	1
2.4. Katebord o kitesurf	1	11	1
2.5. Excursionismo	4	8	1
2.6. Camping			
3. Tráfico de vehículos y/o personas	3	10	0
3.1. Caminos interiores no autorizados	6	6	1
3.2. Senderos interiores no autorizados	7	6	0
3.3. Tráfico carretero sin control de velocidad	6	7	0
3.4. Tráfico carretero sin control del tipo de carga	5	7	1

Tabla 4 Percepción ciudadana de amenazas y oportunidades del humedal El Yali. Fuente: elaboración propia.

Año	N° Visitas	Total Visitantes	N° Extranjeros	N° Servicios	N° Fiscalizaciones	N° Visitas Educativas	N° Visitas Turísticas	N° Actividades Investigación
2004	6	31	2	2	0	2	2	0
2005	36	233	1	4	0	22	5	5
2006	95	283	5	7	0	3	60	25
2007	140	833	7	14	4	11	81	30
2008	172	1239	22	15	8	26	77	46
2009	205	1692	23	20	9	27	121	28
2010	173	3693	69	39	12	22	94	34
2011	183	5375	70	22	13	20	114	14
2012	271	1825	31	51	13	31	162	14
Total	1281	15204	230	174	59	164	716	196
Media	142	1689	26	19	7	18	80	22

Tabla 5 Resultados del análisis del libro de visitantes que mantiene CONAF en la administración de la Reserva Nacional El Yali, años 2004 - 2012. Fuente: libro visitas CONAF.

CONCLUSIONES

Las primeras medidas de restauración propuestas para el área protegida Reserva Nacional El Yali son la reconstrucción de las dunas de arena arrasadas por el tsunami del año 2010 y el manejo integrado de la flora, especialmente de las plantaciones de especies introducidas, como pinos y eucaliptos.

Algunos de los residentes, pasan sólo una fracción del año en el humedal, consistiendo la propiedad en una segunda habitación o casa de veraneo. Todos los residentes coinciden en la importancia que la Reserva Nacional sea de categoría Ramsar, sin embargo al consultar en mayor profundidad, parte importante de ellos, se siente descontento por las restricciones de caza, pesca, y en general todas las medidas de conservación adoptadas. Algunos de los residentes generan enormes presiones a la reserva: soltando animales al interior de ella, realizando actividades productivas en el entorno, entre ellas el cultivo de paltos y frutillas, que actualmente compiten con el recurso hídrico que alimenta el humedal y provocan un daño ambiental a los cuerpos de agua, cambiando o traspasando los límites del área protegida, entre otros.

Se observa la necesidad de sensibilizar a la comunidad aledaña al humedal sobre los valores y funciones ecosistémicas de los recursos presentes, de manera de concientizar a las personas sobre el cuidado y futuro del complejo de humedales. Aun cuando

CONAF ha realizado diversas acciones de capacitación y educación, se evidencia una falta de compromiso de la comunidad que debe ser abordado.

Desde el año 2004 a la fecha, el humedal ha sido visitado por poco más de 10.000 personas (unas 1.600 personas por año). Los visitantes a la reserva, provienen principalmente de Santiago, algunos directamente o bien, con una escala en Santo Domingo. Una fracción importante consiste en investigadores y otra de funcionarios públicos que realizan diversas actividades de fiscalización en el interior de la reserva. Hay también frecuente visitas de cursos de alumnos, tanto de educación superior, medios y básicos. Una fracción menor consiste en visitantes extranjeros.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por Ministerio del Medio Ambiente de Chile, la Agencia de Parques de Canadá (Parks Canada); Fondo Desarrollo Disciplinario Facultad de Ingeniería, Universidad de Playa Ancha, DGI ING-01/1213, DGI CNE-01/1112. Los autores agradecen a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) de la región de Valparaíso, por las autorizaciones para el ingreso a la reserva y el apoyo logístico brindado a través de sus profesionales y guardaparques.

BIBLIOGRAFIA

Albert, F. (1900). Las dunas, o sean las arenas volantes, voladeros, arenas muertas, invasión de arenas, playas y médanos del centro de Chile: comprendiendo el litoral desde el límite norte de la provincia de Aconcagua hasta el límite sur de la de Arauco. Anales de la Universidad de Chile, imprenta Cervantes.

Arntz, W., & Farhbach, E. (1996). El Niño. . En *Experimento climático de la naturaleza, causas físicas y efectos biológicos*. (pág. 312). México, DF: Fondo de Cultura Económica.

Cienfuegos, R., Campino, J., Gironás, J., Almar, R., & Villagrán, M. (2012). Desembocaduras y lagunas costeras en la zona central de Chile. En M. Fariña, & A. Camaño (Edits.), *"Humedales costeros de Chile"* (págs. 21 - 65.). Santiago de Chile.: Ediciones UC.

Contreras, M., Winckler, P., & Molina, M. (2012). Implicancias de la variación del nivel medio del mar por cambio climático en obras de ingeniería costera en Chile. . Anales del Instituto de Ingenieros de Chile.

Magrín, G. (2008). Implicancia del cambio climático en los sistemas de producción agropecuaria: posibles reacciones del sector. *En Selección de Artículos de Le*

Monde diplomatique. "La Agricultura ¿otra víctima del cambio climático?", 49 - 61.

Marquet, P., Abades, S., & Barria, I. (2012). Distribución y conservación de humedales costeros: una perspectiva geográfica. En M. Fariña, & A. Camaño (Edits.), *"Humedales costeros de Chile"*. (págs. 1 - 19.). Ediciones UC, Santiago de Chile.

McGranahan, G., Balk, D., & Anderson, B. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. . *Environ Urban* , 19: 17 - 37. .

Molina, M., & Contreras, M. (2012). Variabilidad climática y oleaje en el Pacífico Sur Oriental; Costa de Chile. *Científica* , 9(3): 240 - 250.

Paskoff, R., & Manríquez, H. (2004). Las dunas de las costas de Chile. Santiago: Instituto Geográfico Militar. .

Quezada, J., Jaque, E., Fernández, A., & Vásquez, D. (2012). Cambios en el relieve generados como consecuencia del terremoto Mw = 8,8 del 27 de febrero de 2010 en el centro-sur de Chile. *Revista de Geografía del Norte Grande*, 53: 35 - 55.

CC.5.O. Sostenibilidad de la obtención del cacao utilizando el pensamiento del ciclo de vida: Caso de estudio en Colombia

Oscar O. Ortiz^{*}1, Joshua Rangel¹, Raquel A. Villamizar²

E-mail: oscarortiz@unipamplona.edu.co

1 Universidad de Pamplona, Colombia. Departamento de Ingeniería Industrial.
Dirección: Km 1 Bucaramanga, campus Universitario. Pamplona, N. S. Colombia.
Teléfono: +57 3132613340 Email: oscarortiz@unipamplona.edu.co

2 Universidad de Pamplona, Colombia. Departamento de Microbiología. Dirección: Km 1 Bucaramanga, campus Universitario. Pamplona, N. S. Colombia. Teléfono: 57 5685303 ext. 150 Email: raquel.villamizar@gmail.com

RESUMEN

El presente artículo muestra la utilización del Pensamiento del Ciclo de Vida (PCV) en el sector agrícola, especialmente en la producción de cacao Colombiano evaluando los aspectos ambientales y socio-económicos, pilares fundamentales de la sostenibilidad. Por lo tanto, dos herramientas han sido utilizadas. Una herramienta es la metodología medioambiental del Análisis del Ciclo de Vida (ACV), que se sugiere para evaluar el impacto ambiental durante el ciclo de vida del sistema de producción del cacao. La segunda herramienta es la Función de Pérdida de Taguchi (TLF) que se utiliza para estimar el aspecto económico de un proceso considerando la "desviación de un objetivo de producción".

Los resultados mostraron que el mayor impacto ambiental de la producción de cacao se debe al uso de fertilizantes, que represento aproximadamente un 90-96% de las emisiones totales. Económicamente, los valores objetivos durante la vida útil del cultivo fueron superados por 10 granjas (de las 30 estudiadas), resultados que van desde \$5.68E06 hasta \$4.76E+07. Socialmente, la heterogeneidad de la producción del cacao en cuanto a la orientación cultural y empresarial entre los agricultores encuestados mostró cómo algunos de ellos aprovechan mejor las oportunidades de obtener mayores ingresos.

Por último, las mejoras oportunas en las prácticas agrícolas y la correcta aplicación de insumos pueden mejorar la toma de decisiones en el sector cacaotero de cara hacia una sostenibilidad agrícola. Con fines agroindustriales, por ejemplo, la aplicación del pensamiento del ciclo de vida a la producción del cacao permitió, no sólo evaluar indicadores de sostenibilidad sino que también pueden servir a la toma de decisiones con el fin de aumentar la productividad y la competitividad de la producción de cacao, todo

lo cual ha sido conferido mediante la utilización del PCV por su amplia aceptación mundial.

Palabras claves: Cacao; Colombia; Pensamiento del ciclo de Vida; Sostenibilidad; Función de Pérdida de Taguchi.

INTRODUCCION

El cacao es un producto de consumo global del cual Colombia es el quinto productor mundial y el tercero en Latinoamérica (ICCO, 2012). De acuerdo al Plan Decenal de Desarrollo Cacaotero 2012-2021, en Colombia existen 660.000 hectáreas disponibles para su cultivo. Con una inversión requerida de unos 2.5 billones (pesos colombianos) durante los próximos 10 años, se ha proyectado que estos terrenos produzcan unas 246.000 Ton para el año 2021; y de acuerdo a estudios realizados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y CORPOICA se espera que el sector genere unos 40.000; 100.000 y 130.000 trabajadores a corto, mediano y largo plazo.

Sin embargo, algunos de los aspectos que afectan la competitividad del cacao colombiano por mencionar son el promedio de rendimiento nacional de 446 Kg ha^{-1} , el cual es bajo comparado con el obtenido en Costa de Marfil (primer productor mundial) con 625 Kg ha^{-1} (FAOSTAT, 2013) y mucho menor cuando se compara con el objetivo de producción nacional (1500 Kg ha^{-1}). Otros aspectos son la mala realización de labores poscosecha, el poco valor agregado durante el proceso productivo, y la falta de claridad en lo concerniente a cuánto dinero es probable que pierda una familia cacaotera como resultado de un manejo inadecuado del cultivo.

Por lo tanto, de cara a mejorar los indicadores de sostenibilidad, la industria agroalimentaria está en la necesidad de aplicar metodologías que sean capaces de incorporar información sobre aspectos ambientales y económicos durante el ciclo de vida de producción. Es así que el Pensamiento del Ciclo de Vida (PCV) es aplicado mediante la integración de aspectos socioeconómicos y medioambientales, haciendo uso de dos herramientas metodológicas a saber: el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y la Función de Pérdida de Taguchi (FPT).

La primera metodología de la ACV sigue lineamientos de la norma internacional ISO 14040/44: 2006, donde se aplica para evaluar el impacto ambiental de un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida, de la cuna hasta la tumba: extracción de materias primas, producción o procesamiento, uso y subsecuente desecho (ISO 14040, 2006).

Por otro lado, la FPT cuantifica la variabilidad de un proceso y es una herramienta efectiva para justificar y evaluar los efectos de mejoras en la calidad como, por ejemplo, estrategias de tolerancia a ajustes, cuyos efectos sobre la calidad van a ser estudiados desde un punto de vista económico (Berk & Berk, 2000); (Bernardo, 2001); (Ozdemir & Maghsoodloo, 2004); (Liao & Kao, 2010); (Castillo-Villar, Smith, & Simonton, 2012).

Debido a la necesidad de mejorar los indicadores de la industria cacaotera, el objetivo principal de este artículo es evaluar la sostenibilidad de la obtención del cacao utilizando el pensamiento del ciclo de vida en Colombia. Se espera que este trabajo de investigación sirva de referencia al involucramiento del Pensamiento del Ciclo de Vida de a cara a mejorar los indicadores de sostenibilidad para aquellas partes interesadas, tales como cacaocultores, ingenieros y ambientalistas, así como al gobierno y expertos en ACV.

METODOLOGIA

Aspectos ambientales del acv

El ACV comprende cuatro fases, a saber: definición de objetivos y alcance, análisis de inventario, estudio del impacto ambiental e interpretación.

Definición de objetivos y alcance:

La investigación fue llevada a cabo en los departamentos con la mayor producción a nivel nacional: Santander, con un 40,7% de la producción nacional; Norte de Santander, con 8.3%; y Antioquia con 5.3%. Los datos utilizados corresponden a 2012, donde existían unas 116.777 ha. Los datos sociales, económicos y ambientales fueron obtenidos de 45 fincas que representan el estado actual de la producción de cacao en cada zona y departamento, donde corresponde a una agricultura convencional con producciones que van de los 400 a los 800 Kg ha⁻¹. De esa manera, fincas con grandes extensiones o con registros de producción muy altos no fueron el criterio guía empleado para la selección de las unidades productivas. Después de descartar muestras con datos faltantes, un total de 30 fincas fueron incluidas en el análisis.

El sistema en estudio, los límites del mismo y la unidad funcional fueron definidas como se muestra a continuación:

El **sistema en estudio** comprende el proceso productivo desde las labores en vivero, pasando por la preparación del terreno y siembra definitiva hasta la fertilización, manejo fitosanitario y el consumo de energía.

Límites: el análisis incluye labores como la fertilización, aplicación de enmiendas, control de arvenses, plagas y enfermedades, podas, beneficio, secado, limpieza y empacado del grano.

Unidad funcional: 1 hectárea (1 ha) de terreno sembrado con cacao.

Análisis del Inventario.

Los datos de inventario colectados corresponden a entradas y salidas de energía e insumos del sistema en cuestión. Estos datos fueron clasificados en dos categorías: a) datos primarios, obtenidos directamente de los agricultores y que corresponden al consumo de insumos (fertilizantes, bolsas de vivero, pesticidas, etc.) y de energía (combustibles), cuyos valores fueron ajustados a la unidad funcional; y b) datos secundarios obtenidos de la base de datos de Ecoinvent (www.ecoinvent.org).

Estudio del Impacto Ambiental.

El método CML (Centro para Estudios Ambientales, 2001) fue utilizado para evaluar el perfil ambiental del sistema productivo de cacao en cuestión. Impactos como Cambio Climático (PCC, medido en Kg de CO₂ Equiv.) para los próximos 100 años fue tomado en cuenta debido a la importancia de este fenómeno global que afecta las condiciones locales (UN-CSD, 2005).

Interpretación.

En esta fase, los datos de inventarios recolectados fueron transformados en valores de impacto ambiental interpretables ajustados al tamaño de la unidad funcional (1 ha). Lo anterior permitió la evaluación de los impactos ambientales de las entradas y salidas de los insumos del sistema. Tanto los datos de Ecoinvent, como los datos recolectados en las fincas, fueron procesados por medio del software *LCManager* 1.3 (Simple, España).

Análisis económico mediante la función de perdida de taguchi (fpt)

La FPT fue usada como “nominal-is-best”, esto es cuando el valor de “y” alcanza un objetivo “T”, ver ecuación 1.

$$L(y) = k (y - T)^2 \quad \text{Eq. (1)}$$

Donde T es el valor nominal de la especificación de la productividad objetivo; y es la productividad real en campo; L es la pérdida asociada a una diferencia particular entre y y T; y k es el coeficiente de pérdida de calidad, cuyo valor depende del costo en unos límites específicos y en la amplitud de tal especificación (ej., $T \pm \Delta$, donde Δ es la tolerancia del cliente a la desviación de y del valor objetivo) (Phadke M.S. 1989). A esta situación, se definieron dos escenarios diferentes a través de la variación en T, que son: metas de producción departamental (T_1) y nacional (T_2).

Aspectos sociales

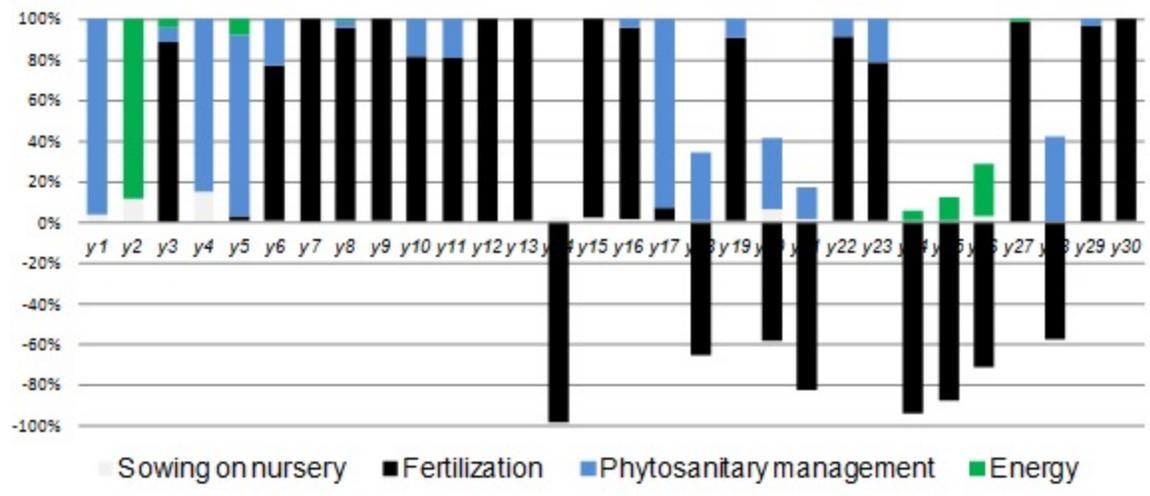
La producción de cacao en Colombia es una actividad familiar de subsistencia caracterizada por la poca tenencia de la tierra (16.1 ha en promedio) y la generación de 8.5 empleos por ha (Mantilla, 1996). Este aspecto fue evaluado a través de estudios en campo, lo cual permitió medir una serie de indicadores sociales tales como trabajo, acceso a la electricidad, servicios básicos, disponibilidad de alcantarillados, acceso al agua y comunicaciones.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados de este estudio muestran que mejoras apropiadas en las labores de cultivo y en el consumo de insumos muy posiblemente facilitan la toma de decisiones en el sector cacaotero de cara a mejorar indicadores de la sostenibilidad.

La Figura 1 muestra el perfil ambiental de cada una de las fincas evaluadas. Se encontró que el impacto correspondiente al cambio climático de la producción de cacao presenta tanto valores negativos como positivos. Los últimos corresponden a las emisiones de CO₂ netas, mientras que los primeros corresponden a créditos de CO₂. El más alto impacto ambiental resultó del uso de fertilizantes, los cuales aportaron del 90 al 96% del total de las emisiones. Sin embargo, la decisión de aplicar estos agroquímicos depende de la calidad del cultivo y de su manejo, intensidad del sombrero, y propiedades fisicoquímicas del suelo. En algunas regiones, la alta fertilidad del suelo hace innecesario el uso de fertilizantes durante los primeros 5 años del cultivo.

Figura 10 Impacto ambiental de las fincas estudiadas, en términos de sus resultados de PCC.



Debido al uso de fertilizantes de síntesis química contó con el mayor impacto ambiental, se recomienda buscar alternativas que permitan suplir las necesidades del cultivo, a la vez que se disminuyen estos impactos. Lo anterior se puede lograr planificando la fertilización del cultivo en la que se considere el reemplazo parcial o total de dichos fertilizantes de síntesis química, por aquellos provenientes de desechos orgánicos (fertilización orgánica).

En cuanto a los resultados económicos, la Tabla 1 muestra el desempeño económico de las fincas estudiadas. Los valores negativos de L (y) indican pérdidas ocasionales determinadas por desviaciones de (T_1) y (T_2) .

Tabla 6 Desempeño ambiental y económico.

Finca	T1 (Departmental)	K	L (per ha per 25 years)	Kg CO ₂ Eq (per ha per year)
Y1	4,77E+02	2,76E+02	-8,63E+06	5.61E+01
Y4	4,77E+02	2,76E+02	-8,63E+06	1.46E+01
Y5	5,64E+02	1,92E+02	-1,82E+06	1.43E+02
Y7	4,77E+02	2,76E+02	-4,63E+07	4.17E+02
Y10	4,77E+02	2,76E+02	1,37E+07	1.14E+02
Y11	5,28E+02	2,76E+02	-9,92E+05	6.07E+02
Y12	4,77E+02	2,76E+02	2,48E+03	1.67E+02
Y16	5,64E+02	1,92E+02	7,85E+05	1.38E+02
Y17	5,64E+02	1,92E+02	2,48E+05	1.46E+02
Y18	4,77E+02	2,76E+02	-5,71E+06	-6.06E+01
Y19	4,77E+02	2,76E+02	-5,71E+06	3.08E+02
Y20	4,77E+02	2,76E+02	1,46E+05	-6.27E+00
Y22	4,77E+02	2,76E+02	4,17E+06	2.02E+02
Y23	5,64E+02	1,92E+02	9,39E+03	2.45E+02
Y24	5,64E+02	1,92E+02	-7,99E+06	-1.47E+02
Y25	5,64E+02	1,92E+02	-6,84E+06	-1.13E+02
Y28	5,64E+02	1,92E+02	7,85E+05	-5.41E+01

Se puede apreciar que solo dos fincas alcanzaron valores de T por encima de los 800 Kg ha⁻¹, acercándose de esa manera al valor T nacional. En contraste la finca y_6 , con un valor de L (y) de $-4.76E+07$, es la que más pérdidas presenta, debido a que su productividad es la que más se aleja del valor objetivo de T . Esto se puede deber a la técnica de injerto en leño viejo, la cual hace que el cacao reduzca su producción por un periodo de tiempo; y a la fuerte temporada de lluvias que afectó el territorio nacional

durante los años de 2010 y 2011, con la subsecuente proliferación de hongos fitopatógenos y la marcada pérdida de frutos.

Con respecto al aspecto social, se encontró que las familias cacaocultoras poseen suministro eléctrico y de agua potable, esta última generalmente es proveída por pequeños acueductos veredales. De la misma manera, se cuenta con vías primarias y secundarias adecuadas, cuya función se ve limitada por el estado de las vías terciarias y de los caminos veredales, generalmente en condiciones precarias.

Los niños y adolescentes trabajan al interior del cultivo en algunas labores de acuerdo a sus edades, al mismo tiempo que asisten a las escuelas y colegios rurales. Similarmente, las mujeres alternan las labores domésticas con las labores de cultivo. Vale la pena anotar que dependiendo del sistema de tenencia de la tierra se puede encontrar más de una familia por unidad productiva.

El hogar típico cacaotero es construido con materiales que no garantizan estabilidad en caso de emergencias, en algunos casos con paredes construidos con barro y caña, o de madera, y en el mejor de los casos con ladrillos con un techo de hoja-lata. Generalmente, el techo de estas casas es corredizo y en él se depositan los granos de cacao para su secado al sol; cuando las condiciones climáticas son adversas, el techo de la casa vuelve a su posición normal para proteger al grano de cacao y a la familia de la lluvia. A este tipo de construcciones se les conoce con el nombre de “Casas-elba”, aunque existen variados tipos de otras estructuras para el secado de los granos.

CONCLUSIONES

A través de esta investigación se pudo determinar que las características del sistema de producción de cacao en Colombia, son muy particulares. Los involucrados en la cadena productiva deben prestar especial atención a aquellos casos en los que existe una sobreutilización de los agroquímicos en el cultivo, en búsqueda de la sostenibilidad de este. Como ya se mencionó antes, estrategias para el reemplazo parcial o total del uso de fertilizantes de síntesis químicas deben ser desarrolladas por las entidades gubernamentales con el fin de reducir los impactos en el cambio climático del cultivo y garantizar la sostenibilidad ambiental de este.

Al momento de la realización de esta investigación, herbicidas como el Round-up (glifosato) eran frecuentemente utilizados en algunas fincas. A esta situación debería prestársele atención ya que según un estudio publicado por Gilles-Eric *et al.*, en 2012 este herbicida puede representar un riesgo para la salud humana y animal.

La evaluación económica de las fincas en estudio permite recomendar la revisión de sus actuales prácticas de manejo agronómico, con el fin de obtener un mejor desempeño en la plantación. Lo último, será un factor preponderante a la hora de

obtener mejores rendimientos, lo cual acercaría la productividad al valor T objetivo, y consecuentemente mejores ingresos para el campesino.

Una recomendación más general sería la de otorgarle un precio diferencial al cacao colombiano, obtenido a través de programas de cultivo alternativos en los que se busque resaltar la calidad en taza del cacao colombiano, ya reconocido internacionalmente por su aroma y sabor finos.

BIBLIOGRAFIA

Berk, J., & Berk, S. (2000). ANOVA, Taguchi, and Other Design of Experiments Techniques. . *Quality Management for the Technology Sector*, 106-123.

Bernardo, F. (2001). Quality costs and robustness criteria in chemical process design optimization. . *Computers & Chemical Engineering, Volume 25, Issue 1*, 27-40.

Castillo-Villar, K., Smith, N. R., & Simonton, R. (2012). A model for supply chain design considering the cost of quality. En *Applied Mathematical Modelling, Volume 36, Issue 12* (págs. 5920-5935).

CML's impact assessment methods and characterization factors. (2001). *Leiden University, Institute of Environmental Science (CML)*. Obtenido de Centre for Environmental Studies, University of Leiden, CML 2 baseline method 2000: <http://www.leidenuniv.nl/cml/index.html>.

FAOSTAT, O. d. (2013). Obtenido de [\[http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#_anchor\]](http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#_anchor)

ICCO/ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL PARA EL CACAO. (01 de 09 de 2012). Obtenido de <http://www.icco.org/about-cocoa/growing-cocoa.html>

Liao, C., & Kao, H. (2010). Supplier selection model using Taguchi loss function, analytical hierarchy process and multi-choice goal programming. . En *Computers & Industrial Engineering, Volume 58, Issue 4* (págs. 571-577).

Mantilla, J. (1996). *Efecto De Niveles De Nitrógeno, Fosforo y Potasio Sobre La Producción De Cacao En Suelos Del Departamento De Santander*. Recuperado el 27 de 11 de 2012, de <http://www.corpoica.gov.co/sitioweb/Archivos/oferta/EFECTODENIVELESDENITROGENO.pdf>

ISBN: 978-9968-641-26-5

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL PARA LA ESTANDARIZACIÓN/ISO. (s.f.). ISO 14040:2006. *Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework*.

Ozdemir, G., & Maghsoodloo, S. (2004). Quadratic quality loss functions and signal-to-noise ratios for a trivariate response. . *Journal of Manufacturing Systems, Volume 23, Issue 2*, 144-171.

Séralini, G.-E., Clair, E., Mesnage, R., Gress, S., Defarge, N., Malatesta, M., y otros. (2012). Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize, *Food and Chemical Toxicology*. November .

UN-CSD, (. N.-C. (2005). *Report of the Commission on Sustainable Development, CSD-15*. Obtenido de http://www.un.org/esa/dsd/resources/res_docucsd_15.shtml

CC.6.O. Proyecto Manejo de Carbono: Caso Municipio de San Rafael de Heredia, Costa Rica

Carbon management project: case municipality of San Rafael de Heredia, Costa Rica

*Vanessa Valerio Hernández*¹ (vvalerio@una.cr),
*Sonia Arguedas Quirós*¹ (sargued@gmail.com)

¹ *Académicas e investigadoras de la Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, Costa Rica*

RESUMEN

La Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional asume el compromiso de trabajar con un proyecto de investigación y extensión denominado “Proyecto Piloto de Manejo de Carbono en la Municipalidad de San Rafael de Heredia”, a través del cual se pretende elaborar una Estrategia de Cambio Climático a Nivel Cantonal con enfoque participativo que genere la información de un estudio de caso que pueda ser comunicado y replicado a otros gobiernos locales. Para ello, se toma como referencia la experiencia de trabajo que se ha desarrollado en el cantón de San Rafael de Heredia a través de quince años de relaciones con proyectos de gestión y educación ambiental.

Para el desarrollo de la estrategia, se crea un grupo de trabajo representativo de los diferentes sectores sociales del cantón. Con la conformación y capacitación de esta Comisión, se inicia la elaboración de una estrategia de cambio climático, la cual consta de 5 ejes de acción: (1) Inventario de emisiones de GEI a nivel local, (2) Captura y remoción de GEI a nivel local, (3) Gestión de planes de mitigación y adaptación, (4) Comunicación y divulgación, y (5) Sensibilización y educación ambiental.

Dentro del eje de gestión de planes de mitigación y adaptación, se están desarrollando tres proyectos que surgen del inventario de emisiones y de la percepción social de los problemas ambientales, los cuales son: (1) Manejo de Residuos Orgánicos aplicando tecnologías bajas en emisiones para el Distrito Central del Cantón, (2) Ordenamiento y Eficiencia del Transporte Municipal y Cantonal y (3) Restauración y Reforestación de Áreas Degradadas y en Riesgo. Paralelamente, se trabaja la sensibilización y educación ambiental como eje trasversal de los proyectos en cuatro niveles; funcionarios municipales, docentes, comunidad y sector privado, para el fortalecimiento de capacidades y conocimientos en la temática de cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, estrategias, educación ambiental, comunidad, gobierno local, emisiones, gases de efecto invernadero.

ABSTRACT

The School of Environmental Sciences at the National University (EDECA-UNA) is committed to work in a project entitled "Pilot Project for Carbon Management in the Municipality of San Rafael of Heredia", through which it was intended to develop a Local – Scale Climate Change Strategy with a participatory approach to generate information for a case study that can be communicated and replicated to other local governments. To do this, it draws on the work experience of fifteen years with the community of San Rafael of Heredia in the management of projects and environmental education.

To develop this strategy, a working group was created, representing the different social sectors of the community. The formulation of the climate change strategy began with the formation and training of this Commission, and it has five lines of action: (1) Local – scale GHG emissions inventory, (2) Carbon capture and removal of locale – scale GHG emissions, (3) Management of mitigation and adaptation plans, (4) Communication and dissemination, and (5) Awareness and environmental education.

There are three projects that are being developed within the mitigation and adaptation plans of the strategy, which are: (1) Organic Waste Management Applying Low Carbon Technologies for San Rafael's Central District, (2) Municipal and Local Transportation Efficiency and (3) Restoration and Reforestation of Degraded and Vulnerable Areas. Also, the environmental education and awareness is being developed as a transversal line of action in all the projects and it has been approached in four levels: municipal employees, teachers, community and private sector, to strengthen skills and knowledge in climate change issues.

Keywords: climate change, strategies, environmental education, communities, local government, emissions, greenhouse gases.

JUSTIFICACION

Se presenta los resultados de la experiencia de un proyecto de investigación y extensión desarrollado durante tres años en una comunidad semirural llamada San Rafael perteneciente a la provincia de Heredia de Costa Rica. Esta comunidad cuenta con una población de más de 43.000 habitantes (Rodríguez Arias & Rodríguez Corrales, 2011), con una extensión de 48.39 Km², con una densidad poblacional de 896 hab/Km². Las principales actividades económicas a las que se dedica la población son la agricultura y la ganadería de leche y turismo. El cantón cuenta con un gran potencial de recarga acuífera conformada por dos acuíferos, el Acuífero Barva y Colima, los cuales suministran el agua de gran parte del Valle Central, por ello es importante tomar medidas tendientes a la protección del recurso mediante una adecuada planificación territorial y la aplicación de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático.

El cantón se ha caracterizado por acelerados cambios en el uso suelo, como consecuencia del desarrollo urbano, donde los cafetales, pastizales y remoción de vegetación se convierten en fuentes potenciales de emisiones de Gases Efectos Invernadero(GEI), que se requieren cuantificar.

En estudios recientes del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica sobre el tema de riesgos y vulnerabilidad, a escala regional, se menciona, en lo referente al sistema hidrológico, que San Rafael es una de las áreas en esta región (Pacífico Central) con mayor vulnerabilidad a eventos climáticos extremos, por esto se debe considerar como prioritaria para medidas de mitigación y adaptación.

Por los aspectos mencionados anteriormente y teniendo en cuenta que esta comunidad consciente, de su realidad, ha trabajado desde hace más de una década en la temática ambiental, producto de una serie de denuncias socioambientales, que movieron la participación ciudadana y fortalecieron las capacidades locales, se elige al cantón de San Rafael de Heredia para desarrollar como plan piloto la elaboración de una estrategia participativa de cambio climático a nivel local.

Desde el 2002 se trabaja intensamente en un proceso de educación ambiental dirigido al manejo de residuos sólidos, dando origen al centro de recuperación de materiales valorizables que actualmente es un ejemplo y modelo a seguir a nivel nacional, lo que ha generado un reconocimiento a nivel de país por tres años consecutivos como el mejor municipio en gestión ambiental. El efecto multiplicador del proceso de educación ambiental ha generado una organización de grupos comunales más sólida, en donde actualmente existen ocho comunidades y nueve centros educativos que cuentan con el galardón del Programa de Bandera Azul Ecológica e integran el tema de cambio climático en su accionar.

De acuerdo con este contexto y a la necesidad que posee el país de trabajar en el manejo de carbono para cumplir con la meta de ser carbono neutral en el año 2021, la Municipalidad de San Rafael decide trabajar en la temática de cambio climático, mediante la articulación de las diferentes agendas e iniciativas locales(el tema de los residuos, protección del agua, reforestación y restauración, contaminación ambiental, otros) de tal forma que contribuyan con la reducción de las emisiones de GEI en el cantón. Igualmente por iniciativa de la comunidad se solicita el acompañamiento de la Escuela de Ciencias Ambientales (EDECA) para trabajar en un proyecto de cambio climático con una visión más integral que trascienda la dimensión ambiental.

El proyecto trabaja con un enfoque de investigación mixto, centrada en la investigación acción, donde se va trabajando con la comunidad de manera dinámica y flexible permitiéndoles a los participantes aprender a través de diferentes recursos de mediación pedagógica, donde se integra los saberes científico y popular como parte de un proceso de construcción de conocimiento permanente.

RESULTADOS DEL PROCESO

Estrategia participativa de Cambio Climático

En este proyecto se concibe la estrategia como una herramienta de trabajo para orientar los esfuerzos que realiza la comunidad y definir las acciones futuras a partir de un análisis de la realidad y la proyección del trabajo teniendo en cuenta las posibilidades reales de gestión, al ser una herramienta para el desarrollo, este debe de contar con el aporte de los diferentes actores presentes en la comunidad. La estrategia presenta cinco ejes de acción y cuatro etapas que se presentan a continuación

Ejes de Acción

El primer eje de acción es el inventario de Emisiones de GEI a nivel local que aporta información técnica necesaria para la toma de decisiones, ya que permite determinar la cantidad de emisiones de GEI generadas en el cantón para un periodo específico. Como parte de las actividades de este eje, se cuenta con un inventario cantonal, el cual fue elaborado en el 2011 y toma como año base el 2008. Es importante destacar que este es el primer inventario cantonal elaborado en el país. 2. El inventario de Captura y Remoción de GEI a nivel local. Este eje corresponde a la otra parte de las métricas que se requieren para determinar la cantidad de las emisiones GEI que son capturadas o removidas de la atmósfera a través de los sumideros presentes en el cantón, información técnica con la que se debe contar para la priorización de acciones y toma de decisiones por parte de las autoridades. 3. Gestión de Planes de mitigación, compensación y adaptación. Este eje tiene como objetivo desarrollar proyectos tendientes a la reducción de emisiones de GEI y la adaptación al cambio climático, de tal forma que generen co-beneficios en el sector social, económico, cultural y ambiental para el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes del cantón. 4. Comunicación y Divulgación. Este eje tiene como finalidad informar sobre la metodología utilizada para la elaboración de la estrategia participativa de cambio climático de San Rafael, de tal forma que sirva de modelo para replicarla en otros municipios del país. 5. Sensibilización y Educación Ambiental, consiste en sensibilizar a la población del cantón en la temática de cambio climático, de tal forma que permita la comprensión de los conceptos básicos y empoderar a las comunidades sobre esta temática.



Figura 11 Ejes de acción de la Estrategia de Cambio Climático a Nivel Local, 2013

Etapas de la estrategia

Para la elaboración de la estrategia de cambio climático del cantón, se siguieron las siguientes etapas:



Figura 12 Etapas del proceso de elaboración de la estrategia de CC, 2013

Fuente: EDECA. Comisión Cambio Climático de San Rafael de Heredia, 2012

Etapa I: Organización

La etapa de organización se inicia con la identificación de los actores de la comunidad con el fin de trabajar en acciones diversas en el cantón y que estén dispuestos asumir el reto de trabajar en una estrategia de manejo de carbono.

Se identificó la necesidad de conformar una comisión que se enfocara específicamente en la elaboración e implementación de la estrategia. Para ello, se crea la Comisión de Cambio Climático que se encuentra constituida por representantes de instituciones y grupos comunales: Municipalidad de San Rafael: representado por funcionarios municipales, miembros de la Comisión de Asuntos Ambientales y del Concejo Municipal, Escuela de Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional, Asociación de Gestión Ambiental de San Rafael, Comités de los Programas de Bandera Azul Ecológica del cantón, Sistema Nacional de Áreas de Conservación (SINAC-MINAET), Área Rectora de Salud de San Rafael, Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) y Castillo Country Club.

Dicha Comisión se oficializó ante el gobierno local a través del acuerdo aprobado por el Concejo Municipal (Acuerdo del Acta #112 del 12 de setiembre del 2011), y la juramentación de sus integrantes. La Comisión, se encuentra debidamente organizada, cuenta con actas foliadas, plan de trabajo, presupuesto asignado por parte de la Municipalidad para desarrollar los proyectos planteados y rinde cuentas al Concejo Municipal.

Con el propósito de empoderar y crear capacidades en los diferentes miembros de la comisión se desarrolló un módulo de capacitación como parte del Proyecto de Educación Ambiental (el cual se describe más adelante), con el fin de capacitar a los miembros en la temática de cambio climático, proporcionarles las herramientas y conocimientos necesarios. La Comisión asume el rol de facilitadores del proyecto de educación ambiental, el seguimiento a la actualización del inventario e implementación de los proyectos que integran la estrategia.

Etapa II: Diagnóstico

Para la fase de diagnóstico se tomó como base la información técnica obtenida del inventario de emisiones de GEI para el cantón, el cual se basó en la metodología establecida en las directrices del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) para la elaboración de inventarios nacionales de GEI de 1996 y del 2006.

Para la elaboración del inventario se clasificaron las fuentes emisoras en cuatro sectores principales (Energía, Agropecuario, Aguas Residuales y Manejo de Residuos Sólidos) y se analizaron tres gases de efecto invernadero: dióxido de carbono, óxido nítrico y metano. Como resultado se obtuvo que las fuentes emisoras más importantes en el cantón corresponden a energía, específicamente las emisiones generadas por los vehículos particulares, manejo de residuos sólidos (emisiones generadas por la descomposición de los residuos orgánicos en el relleno sanitario) y aguas residuales

(emisiones generadas por los tanques sépticos de las viviendas). Estos resultados fueron validados a través de la consulta de percepción realizada a la comunidad sobre los principales problemas ambientales existentes en el cantón. Con base en esta información, se identificaron los puntos críticos y se formularon proyectos para atender dichas fuentes emisoras.

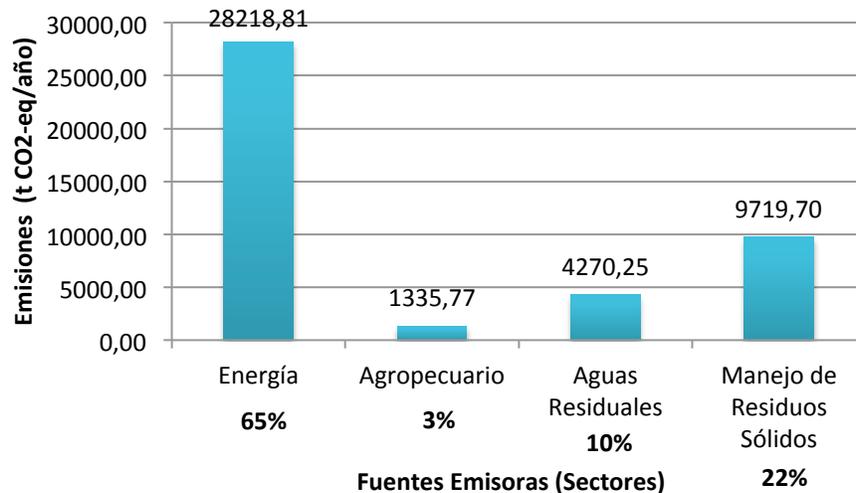


Figura 13 Resultados obtenidos en el inventario de emisiones por fuentes de emisión, 2013

Fuente: Rodríguez D; Rodríguez L, 2011.

Etapas III y IV: Planificación y Ejecución de la estrategia

Estas dos etapas se trabajaron paralelamente, ya que la estrategia posee el enfoque de acción- investigación – acción, en donde los actores sociales involucrados “aprenden haciendo”, se investiga y se acciona de acuerdo con los resultados. Como parte de esta etapa, se desarrollaron los objetivos, políticas y proyectos que conforman la estrategia participativa de cambio climático del cantón, los cuales se detallan a continuación:

Objetivo General de la Estrategia

Elaborar una propuesta participativa de trabajo que contribuya con la reducción de emisiones de GEI, los riesgos y la vulnerabilidad asociados al cambio climático, a través de proyectos de mitigación y adaptación en el cantón.

Objetivos Específicos de la Estrategia

- Realizar un inventario de emisiones de GEI para la identificación de las principales fuentes emisoras en el cantón.
- Establecer las políticas ambientales como marco de acción para la consistencia en la toma de decisiones por parte de las autoridades locales.
- Desarrollar proyectos a nivel local para que contribuyan con la reducción de las emisiones de GEI y la adaptación al cambio climático.

Políticas Ambientales

Se estableció una política ambiental general, así como una política para los temas sobre recurso hídrico, residuos sólidos y cambio climático. Para efectos de la estrategia se dará énfasis a la política de cambio climático, la cual establece que:

POLÍTICA DE CAMBIO CLIMÁTICO MUNICIPALIDAD DE SAN RAFAEL DE HEREDIA

“La Municipalidad de San Rafael de Heredia se compromete a desarrollar acciones concretas para el control y manejo de las emisiones y captura de gases de efecto invernadero en el cantón y a reducir la vulnerabilidad de los sistemas naturales, económicos y sociales a eventos climáticos extremos, mediante la implementación de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, de tal forma que propicien co-beneficios en el sector social, económico, cultural y ambiental en pro del mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes”

Ilustración 1

Fuente: Cordero D, 2010; modificado por EDECA-UNA y Comisión Cambio Climático, 2012.

Cabe destacar, que dicha política ambiental fue validada por la Comisión de Cambio Climático y aprobada por el Concejo Municipal (Acta #169 del 21 de mayo del 2012).

Proyectos de Mitigación y Adaptación al Cambio Climático

Los proyectos que forman parte de la estrategia son producto del módulo de capacitación de la Comisión de Cambio Climático, en el cual los miembros de la comisión, por medio de los puntos críticos del inventario, realizaron la formulación de

los proyectos siguiendo los lineamientos de la Norma INTECO ISO: 14064-2:2006. Actualmente se encuentran en proceso de implementación tres proyectos, los cuales son; Manejo de residuos orgánicos en el Distrito Central de San Rafael de Heredia, Ordenamiento y Eficiencia del Transporte Municipal y Cantonal y Restauración y Reforestación. El proyecto de Educación Ambiental se trabaja como eje transversal de los otros proyectos.



Figura 14 Proyectos de Mitigación y Adaptación que forman parte de la Estrategia de Cambio Climático de San Rafael de Heredia, 2103.

Fuente: EDECA. Comisión Cambio Climático de San Rafael de Heredia, 2012.

Se presenta un resumen de los proyectos mencionados anteriormente.

Proyecto de Manejo de Residuos Orgánicos

El proyecto de Manejo de Residuos Orgánicos en el Distrito Central de San Rafael de Heredia es parte de la iniciativa de la gestión integral de los residuos sólidos que se viene trabajando en el cantón desde el 2003, se inicia con el funcionamiento del centro de recuperación de materiales valorizables y en el 2008 la Municipalidad elabora el Plan Municipal de Gestión Integral de Residuos Sólidos, el cual incluye propuestas para el manejo de residuos orgánicos, e iniciativas para incrementar la recuperación de residuos sólidos valorizables, en cumplimiento con la Ley 8839 para la Gestión Integral de Residuos de Costa Rica.

Por lo tanto, este proyecto de residuos orgánicos pretende probar tecnologías para su tratamiento (compostaje casero, compostaje con microorganismos eficientes y compostaje con microorganismos del bosque), que sean eficientes en el compostaje y con bajo impacto en emisiones de GEI. El proyecto se encuentra en la etapa de

experimentación con residuos de una muestra de casas y comercios, para posteriormente llevarlo a escala cantonal.

Proyecto Ordenamiento y Eficiencia del Transporte Municipal y Cantonal

Este proyecto pretende comprobar la eficiencia de dos alternativas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte, la primera corresponde a la instalación de un dispositivo de eficiencia energética de la empresa canadiense ECONOPRO en varios vehículos municipales, este dispositivo pretende mejorar la combustión del combustible fósil a través de un campo magnético y así poder reducir las emisiones y el consumo de combustible. La segunda alternativa consiste en la utilización de biodiesel como combustible alternativo en la flota vehicular municipal. Para ello, se inició con la recolección de aceite vegetal usado en los restaurantes y hoteles del cantón previamente seleccionados, con el fin de utilizar este residuo como materia prima para la producción de biodiesel, cuyo proceso estará a cargo de la Empresa Energías Biodegradables.

Además, se pretende expandir la utilización de estas alternativas al resto del cantón, dando énfasis al transporte público. Asimismo, se trabajará en medidas de ordenamiento vial tales como la reubicación de paradas de buses y taxis en el distrito central del cantón, con el fin de mejorar el flujo vehicular.

Proyecto de Restauración y Reforestación

Este proyecto tiene como finalidad recuperar la cobertura forestal de las áreas degradadas identificadas como prioritarias, como medidas de adaptación y compensación de tal forma que contribuya con la captura de las emisiones de dióxido de carbono. Este proyecto se trabaja con los grupos organizados del cantón en proyectos de reforestación con especies nativas y fijadoras de carbono, en el cual se implementan mecanismos para el registro de información y guías con recomendaciones de especies para rehabilitar zonas altas y bajas del cantón.

Proyecto de Educación Ambiental

El proyecto de Educación Ambiental es transversal a los proyectos de la estrategia como un instrumento articulador de los mismos. Se buscó impulsar un proceso de educación ambiental que permitiera reforzar valores, actitudes, y comportamientos necesarios para el desarrollo y formulación de criterios por parte del individuo entorno a la problemática del cambio climático, así como de las posibles alternativas existentes para la mitigación y adaptación del mismo. Este proceso ha sido apoyado por estudiantes de práctica comunitaria de la carrera de Gestión Ambiental y estudiantes de tesis de la carrera de Educación Ambiental de la Escuela de Ciencias Ambientales.

La población meta, se dividió en dos categorías; educación ambiental formal y educación ambiental no formal y se establecieron varios niveles, a saber:

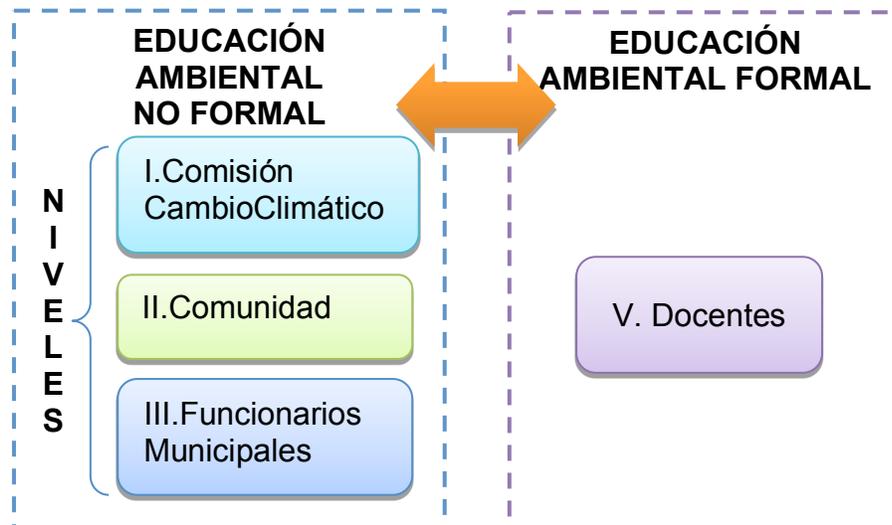


Figura 15 Población meta del Proyecto de Educación Ambiental

Fuente: Elaboración propia, 2012

Este proyecto se encuentra en la etapa de ejecución, en dos componentes; en la educación no formal; se ha capacitado a los miembros de la comisión de cambio climático (15), funcionarios de la municipalidad (18), comunidad (50) y educación ambiental formal docentes (25). Es importante mencionar que el trabajo en educación ambiental continúa como parte de las metas que se ha fijado la Comisión de Cambio Climático al convertir a sus miembros en facilitadores y multiplicadores del proceso de educación en el cantón.

Algunas conclusiones derivadas de la experiencia

Organización y participación

- En comunidades donde está muy arraigado un tema ambiental específico como es el tema de residuos, agua y otros; a veces lleva tiempo lograr que la comunidad comprenda que la temática de cambio climático va más allá de un tema ambiental específico, ya que este es multifactorial y requiere una comprensión sistémica.
- En comunidades donde existe una organización de base y cultura ambiental tiene condiciones más favorables para desarrollar una Estrategia de CC que en otras comunidades donde se requiere iniciar el proceso.

- En las comunidades donde existe construcción de capital social en un modelo invertido donde la gestión local está más liderada por la sociedad civil organizada y el municipio es un actor y no el protagonista del desarrollo, cualquier cambio político no debería afectar el desarrollo de la estrategia de Cambio Climático, porque la sociedad civil brinda respaldo para buscar mecanismos alternativos de apoyo al desarrollo de la misma.
- La organización de la estrategia inicia con la organización del trabajo, para ello se requiere de la conformación de una Comisión de Cambio Climático interinstitucional, la cual requiere ser oficializada, y debe estar integrada por representantes de los diversos sectores que conforman la comunidad, así como algún representante del Concejo Municipal y funcionario municipales.

Desarrollo local

- Los procesos comunitarios requieren un enfoque desde la acción, desde lo intuitivo, es conveniente trabajar de forma paralela la investigación aplicada y ejecutar iniciativas producto de un proceso planificado y ordenado con un norte claro.
- En los procesos comunitarios se requiere constante reflexión, estudio, dosis de imaginación creativa, pensamiento estratégico, visión de largo plazo e innovación para no replicar siempre las mismas respuestas a los problemas ambientales comunitarios.

Gestión política de la estrategia

- El apoyo político formal de parte del Concejo Municipal y de la Administración Municipal es fundamental para el desarrollo de la Estrategia de Cambio Climático a nivel local (áreas estratégicas, políticas, proyectos de disminución de emisiones) y requiere ser oficializada a través de acuerdos y comunicada a la población.
- En los procesos comunales es importante manejar el componente político local específico cuando una iniciativa o proyecto requiere de su aval, presupuesto o participación. Es necesario considerar los cambios de la gestión política municipal porque puede atrasar o paralizar la estrategia.

Gestión Presupuestaria

- La Comisión requiere contar con presupuesto ordinario que le permita desarrollar las actividades y proyectos propuestos, este puede ser independiente o ser parte del presupuesto de algún departamento afín, esto depende de las condiciones y estructura de cada municipio.
- Se requiere buscar financiamiento externo para aquellos proyectos que son cuantiosos y que no pueden ser cubiertos con los recursos municipales.

Sensibilización y educación ambiental

- La educación ambiental ha servido de eje dinamizador del sistema ambiental local e impulsor de otras iniciativas de desarrollo local. Se debe concebir desde el inicio como un proceso continuo, a veces como fin o a veces como medio, para lograr mayores resultados en la calidad de vida de las comunidades.
- Los miembros de la Comisión de Cambio Climático se convierten en facilitadores de los procesos de educación ambiental formal y no formal, lo que permitió empoderarlos de la temática y ser reproductores de la experiencia.
- Este tipo de iniciativa vincula la investigación – extensión con la docencia, al incorporar estudiantes en los procesos comunitarios les contribuye a una formación más integral, donde aprenden desde la acción y desarrollan competencias profesionales.

Inventarios de emisiones y captura de carbono

- Para la elaboración del inventario de emisiones de gases de efecto invernadero, por ser un tema muy técnico, se requiere de capacitación previa a los funcionarios municipales y acompañamiento para elaborar los instrumentos de recopilación de información, realizar los cálculos y el seguimiento para su implementación.
- Todo inventario de emisiones de GEI debe trabajarse en conjunto con los departamentos atinentes al proceso de levantamiento, recopilación y procesamiento de la información necesaria para su elaboración, así como disponer de los recursos tanto humanos como económicos para llevarlo a cabo.
- Se requiere la elaboración de registros y/o herramientas para la recopilación de la información necesaria que permita el diseño y la actualización del inventario, a través de los departamentos municipales. Es importante realizar talleres con los funcionarios municipales con el fin de validar dichos registros, así como explicar su funcionamiento y definir en conjunto los responsables y las gestiones administrativas a seguir para su implementación.

BIBLIOGRAFIA

Acosta, V., & Herrera, G. (2013). Educación ambiental formal con énfasis en cambio climático para los centros educativos Escuela Líder Presbítero Pedro María Badilla, Escuela de Concepción y Liceo Ing. Carlos Pascua, en San Rafael de Heredia. *Borrador práctica dirigida Lic. Heredia, CR*, 134. UNA. Esc. Ciencias Ambientales.

Agenda 21 Salamanca. (s.f.). *Informe: Priorización de proyectos*. Recuperado el 11 de 10 de 2012, de <http://www.agenda21salamanca.com/informepriorizaciones.pdf>

- Covas, O. (. (s.f.). Educación Ambiental a partir de tres enfoques comunitarios, sistémico e interdisciplinario. . *Revista Iberoamericana de Educación*.
- CYMA, P. C. (2012). Consorcio Alemán AMBERO-IP; Centro de Gestión Tecnológica e Informática Industrial (CEGESTI). . *Guía de interpretación de la metodología para la realización de estudios de generación y composición de residuos ordinarios*, 64. San José, CR: CYMA.
- Novo, M. (2009). La educación ambiental, una genuina educación para el desarrollo sostenible. . *Revista de Educación, número extraordinario 2009, Madrid, España.*, 195-217 .
- Quirós, M., Castillo, J., & Morera, M. (2003). La educación Ambiental Comunitaria para la difusión de la cultura del reciclaje: experiencia de trabajo en el Distrito Central de San Rafael Heredia.
- Rodríguez Arias, D., & Rodríguez Corrales, L. (2011). Propuesta de Aplicación de Tecnología Limpia para la Reducción de Emisiones de CO2 equivalente en el cantón de San Rafael de Heredia. *Proyecto de graduación Lic.*, 198. Heredia, CR: UNA. Esc. Ciencias Ambientales.
- Romero, R., & Fernández, F. (1994). La educación ambiental: Situación y Perspectiva. . En *En memoria. Educación Ambiental para el desarrollo sostenible*. (1ª ed ed.). Heredia: EUNA.
- Tréllez, E. (2002). La educación ambiental comunitaria y la retrospectiva: una alianza de futuro. En *Tópicos en Educación Ambiental* (págs. 4 (10), 7-21). México.
- Valerio, V., & Arguedas, S. (2010). Sistematización del proyecto Educación Ambiental en el cantón de San Rafael de Heredia. (Sin publicar).

CC.7.O. Estimación del Balance Hidrológico en un Humedal Artificial construido en una región semiárida, Unidad Universitaria Valle de las Palmas. B.C. México
Estimation of Hydrological Balance in Artificial Wetland built in a semiarid region, Unit Valle de Las Palmas University. B.C. México

Michelle Hallack-Alegría*, Pedro Edgar Peniche Orozco, Alicia Ravelo-García, Mario González-Durán, Juan Carlos Payan-Ramos

Centro de Ingeniería y Tecnología. Universidad Autónoma de Baja California.

Dirección de contacto: Blvd. Universitario 1000. Valle de las Palmas. Tijuana, Baja California. C.P. 21500– México Tel.:+52(664)676-8222 – Fax: +52(664)676-8222. e-mail: mhallack@uabc.edu.mx

RESUMEN

Al noroeste de México, en el municipio de Tijuana, Estado de Baja California, se ubica la Cuenca del arroyo Valle de las Palmas, una región semiárida en donde se construyó un sistema natural de tratamiento de agua residual a través de humedales, tipo flujo sub-superficial con la finalidad de dar tratamiento a las aguas generadas por el Centro de Ingeniería y Tecnología de la Universidad Autónoma de Baja California. Mediante este sistema de humedales se pretende depurar las aguas residuales y de esta manera preservar la calidad de agua de la cuenca a través de su aprovechamiento en acciones de infiltración al subsuelo, desarrollo de aguas verdes y recreación, así como promover la educación ambiental en materia de conservación, protección y reutilización de los recursos hídricos. De esta forma, este trabajo consiste en la estimación del balance hidrológico del sistema de humedales construido, que se refiere al equilibrio entre todos los recursos hídricos que ingresan al sistema y que salen del mismo, en un intervalo de tiempo determinado, lo cual es de particular importancia para lograr una alta eficiencia en el sistema, ya que por estar localizado en una zona semiárida las acciones de precipitación y evapotranspiración tienen un rol clave para el buen funcionamiento del humedal.

Palabras clave: Humedal, balance hídrico, precipitación, evaporación.

INTRODUCCION

Si bien es cierto, el estado de Baja California, ha clasificado entre sus necesidades primordiales, en materia de recursos hídricos, el contar con nuevas alternativas de tratamiento de agua residual de costo bajo y alta eficiencia. De esta forma, en el Centro de Ingeniería y Tecnología (CITEC) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) se propone realizar un prototipo de una planta de tratamiento de agua residual tipo humedal que sea transferible a comunidades rurales, no solo de Baja California, pero también de otras partes del mundo que cuenten con una climatología similar a la nuestra.

Los humedales desempeñan ciertas funciones tales como recarga y descarga de acuíferos, control de inundaciones, control de erosión, retención de sedimentos, exportación de biomasa, protección contra tormentas, estabilización de microclimas y turismo. Sin embargo su función principal es el proceso de filtración de agua que sale con mayor calidad de la que entra gracias a la retención de sedimentos y tejido de sus plantas (Dugan, 1992) Asimismo, de acuerdo a Ramsar (2013) los humedales se pueden clasificar en tres tipos:

- Humedales marinos y costeros: pueden ser aguas marinas someras permanentes, lechos marinos submareales, arrecifes de coral, costas marinas rocosas, playas de arenas, estuarios, y otros sistemas hídricos subterráneos.
- Humedales continentales: algunos pueden ser deltas interiores, ríos o arroyos permanentes, ríos o arroyos estacionales intermitentes e irregulares, lagos permanentes de agua dulce, entre otros.
- Humedales artificiales: estanques de acuicultura, estanques artificiales, tierras de regadío, tierras agrícolas inundadas estacionalmente, zonas de explotación de sal, áreas de almacenamiento de agua, excavaciones, área de tratamiento de aguas servidas, canales de trasportación y drenajes.

De estos tres, el último es de nuestro interés, ya que se pueden diseñar e implementar para imitar las funciones de los humedales naturales. Proponen utilizar sus características naturales de purificación en el tratamiento de las aguas negras, y consisten en un estanque o sustrato, generalmente grava, arena, o tierra, y plantas de humedal. Asimismo, dentro de las acciones de diseño, se contempla la hidrología, que es reconocida como una de las componentes primarias que influyen en el desarrollo de humedales, su permanencia y ecología (Mitsch & Gosselink, 1993). En regiones semiáridas, el manejo hidrológico racional de sistemas de humedales puede resultar imposible debido a un comportamiento climático caótico (Molles, Dahm, & Crocker, 1992), que resulta en controversia con la falta de un balance entre el abastecimiento de agua y su demanda. De tal forma, que para lograr un manejo efectivo de los recursos hídricos en humedales se requiere comprender la manera en que interactúan los componentes del balance hídrico que intervienen en estos sistemas (Gilman, 1994).

El diseño de humedales es empírico, y debe considerar no solo parámetros de caracterización de agua residual, sino también tipo de vegetación, materiales pétreos, y variables hidrodinámicas, las que presentan un rol trascendental en el diseño ya que varían para las diferentes condiciones de regiones climatológicas. Asimismo, de la estimación correcta de estas variables depende la optimización de recursos y la alta eficiencia del sistema. Es por ello que en este proyecto, se propone abordar la fase de diseño desde la perspectiva hidrológica con la finalidad de obtener los parámetros del balance hídrico que se presentan en regiones semiáridas para el diseño de humedales construidos con la finalidad de lograr una alta eficiencia en la remoción de contaminantes con un sistema de costo bajo que cumpla con la normatividad establecida para reúso, así como, establecer la metodología de diseño transferible a comunidades ubicadas en regiones semiáridas con climatología mediterránea.

Ubicación

El sistema de humedales en estudio se localiza al noroeste de México (Figura 1), en los predios de la Universidad Autónoma de Baja California, en específico dentro de la Unidad Académica de Valle de las Palmas, ubicada en la carretera Tijuana-Tecate, municipio de Tijuana, Baja California. Dentro de la Unidad Académica, se ubica en la parte sur a unos metros del arroyo Valle de las Palmas, a 280 metros sobre el nivel del mar con las coordenadas $32^{\circ} 25' 50.51''$ N, $116^{\circ} 40' 31.50''$ W dentro de la Región Hidrológica No. 1 de México.

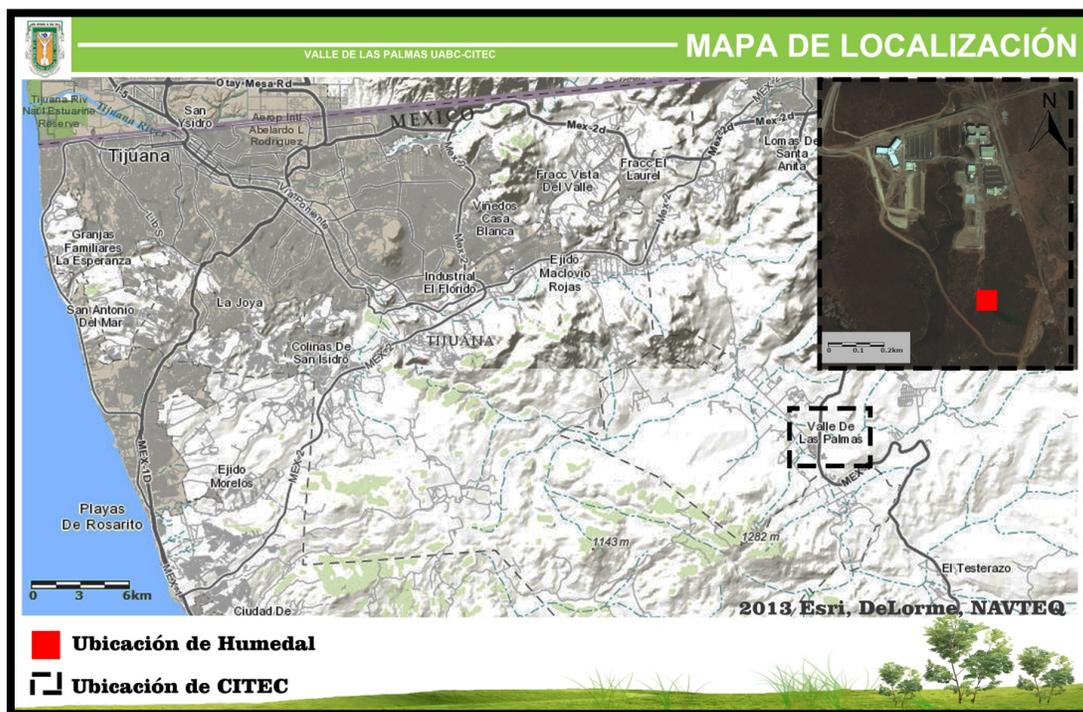


Figura 16 Ubicación del área de estudio al noroeste de México.

Dentro de la subcuenca del arroyo Valle de las Palmas, ubicamos la microcuenca donde yace el sistema, cuenta con un área de 10,169 m², una longitud de cauce principal de 8,755 m y este a su vez cuenta con una pendiente del 3.27% (Figura 2). La región cuenta con un clima semiárido también clasificado como seco templado, material no consolidado con posibilidades altas de crear acuíferos, su tipo de vegetación es de galería y temporal con bosques inducidos.

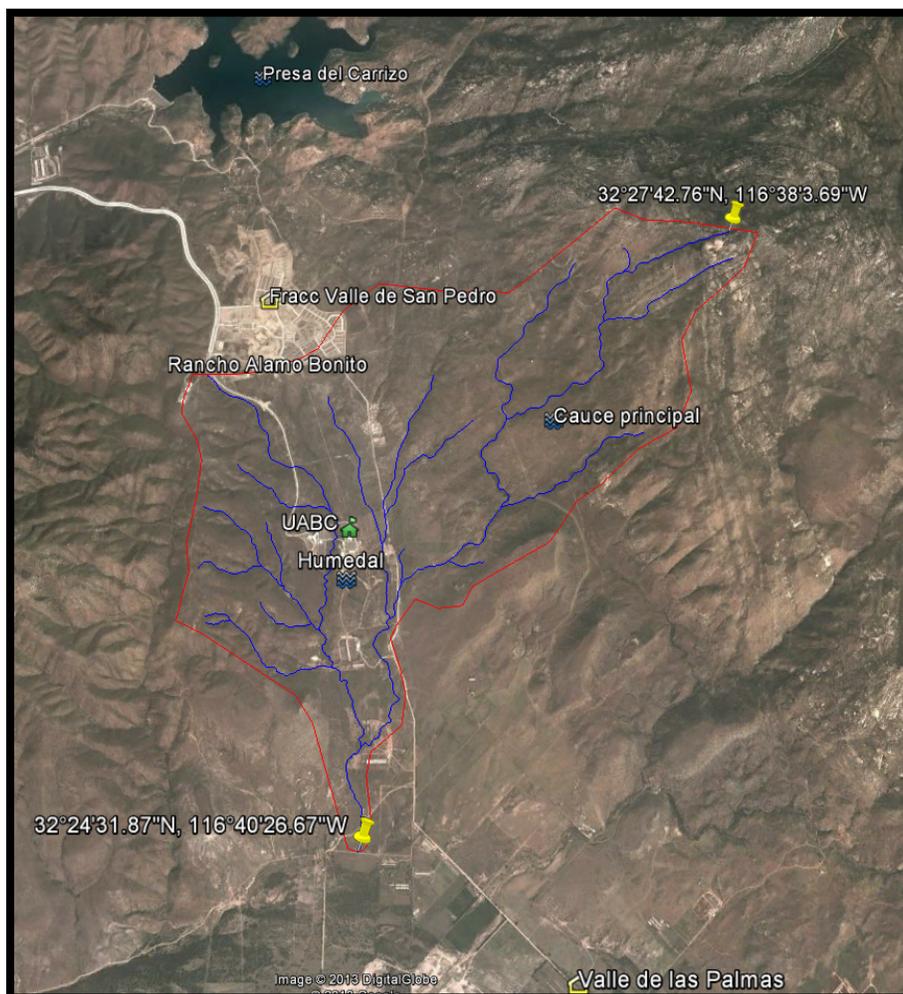


Figura 17 Delimitación de la subcuenca y ubicación del sistema de humedales.

METODOLOGIA

Sistema de humedales

El sistema de humedales en análisis está compuesto por dos camas, la primera es de flujo vertical la cual mide 5.80 m de largo x 2.70 m de ancho x 0.70 m de profundidad su medio filtrante es arena gruesa y grava $\frac{3}{4}$ "- 1 $\frac{1}{2}$ ", su red de suministro es de 2" y la de recolección 4". La vegetación es tule (Schoenoplectus acutus) y alcatraz (zantedeschia aethiopica). La segunda cama es de flujo horizontal mide 6.00 m de largo x 3.20 m, de ancho x 0.60 m de profundidad su medio filtrante es grava $\frac{3}{4}$ "-1 $\frac{1}{2}$ ", su red de suministros es de 4" al igual que la de recolección, su vegetación es el carrizo (Phragmites australis). La pendiente de la superficie del humedal es plana (0%), este debe ser realizado con mucho cuidado para evitar que se formen charcos de agua sobre la superficie. La pendiente del fondo o lecho del humedal varía de 0.5 a 2% pero generalmente se utiliza una pendiente ligera del 1%. Del sistema se obtienen los datos de flujo de entrada y salida de cada cama, así como variables fisicoquímicas como la temperatura, pH, y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Dicho sistema ha alcanzado en promedio el 80% de remoción de DBO₅ para el período de tiempo de análisis del presente estudio.

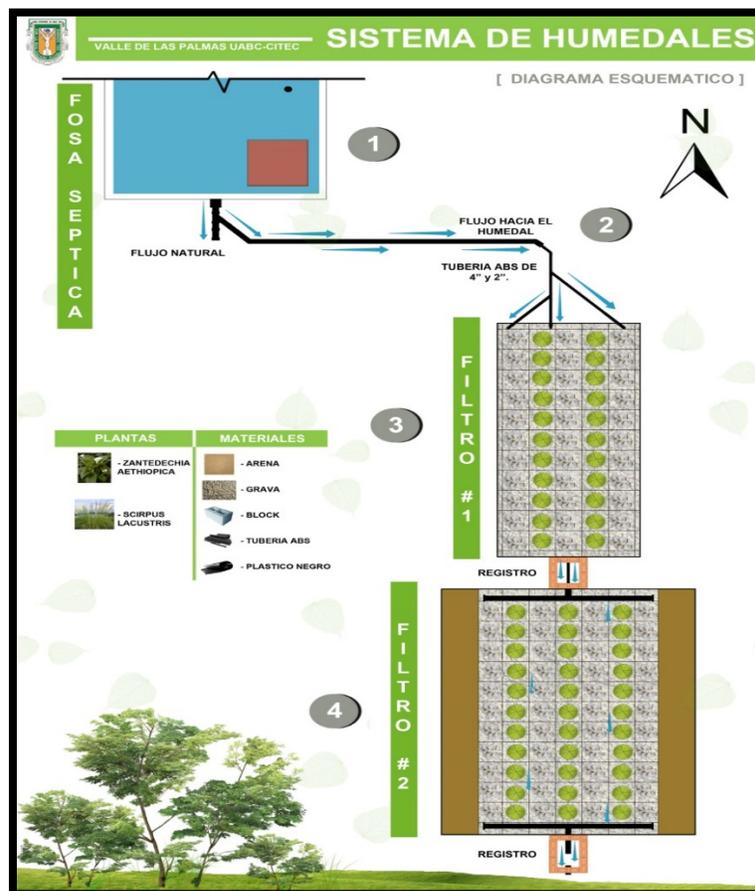


Figura 18 Diagrama esquemático del sistema de humedales.

Balance Hídrico

El ciclo hidrológico es un proceso continuo en donde el agua que se evapora de los océanos, se mueve tierra adentro humedeciendo las masas de aire, y produciendo precipitación siempre y cuando las condiciones correctas existan. Una porción de la precipitación es retenida en el suelo, parte de ella entra el sistema como infiltración, otra se escurre, mientras que otra parte se evapora o transpira (Bedient & Huber, 2002).

La fórmula general para el cálculo de Balance Hídrico es la siguiente (Aranda, 1998).

$$P + R_1 - R_2 + R_g - E_s - T_s - I = \Delta S_s \quad (1)$$

Donde:

- P Precipitación mm.
- R Escurrimiento m^3 .
- R_g Escurrimiento subterráneo m^3 .
- T_s Transpiración mm.
- I Infiltración m^3 .
- E_s Evaporación mm

Debido a las condiciones y datos obtenidos de nuestro humedal construido se reduce la ecuación de la siguiente manera:

$$\frac{dv}{dt} = Qe + Qs + P - ET$$

Donde:

- Qe Gasto de entrada al humedal m^3/s
- Qs Gasto de salida del humedal m^3/s
- P Precipitación mm
- ET Evapotranspiración mm
- t Tiempo.
- v Volumen en humedal

El balance hídrico es analizado para el período de abril a agosto de 2013. Los datos meteorológicos han sido obtenidos de una estación meteorológica ubicada en las instalaciones de la Unidad Valle de las Palmas, y tiene las siguientes coordenadas geográficas, 32°26.088' N y 116°40.493 W. En este caso, se obtuvieron los datos de la estación meteorológica de precipitación y evapotranspiración, y se realizaron estimaciones mensuales (Tabla 1).

Tabla 7 Datos mensuales promedio de precipitación y evapotranspiración.

MES	PRECIPITACION mm	EVAPOTRANSPIRACION mm
ABRIL	0.50	233.77
MAYO	5.03	201.42
JUNIO	2.64	71.10
JULIO	0.25	113.86
AGOSTO	3.80	193.33

También es necesario conocer la entrada y salida de flujo del humedal. Los flujos se tomaron de forma manual con un recipiente de volumen conocido (1 litro) y tomando su tiempo de llenado, este procedimiento se realizó a la entrada de la primer cama del humedal, salida de la primera cama que es el mismo que entrada a la segunda y por último se realizó a la salida de la segunda cama. Los días que se midió el flujo fueron entre semana de lunes a viernes a las 9:00, 11:30, 14:00 y 16:30 horas. Los días sábados y domingos, así como horarios sin clase el gasto en el sistema es casi nulo, por lo que no es conveniente realizar mediciones.

RESULTADOS Y DISCUSION

Para realizar el balance hídrico se utilizaron los datos que aparecen en la Tabla 2. El período de abril-agosto de 2013 ha sido considerado debido a que, a partir de abril se habilitó la segunda cama del humedal y de esta forma se logró realizar un balance hídrico más completo.

Tabla 8 Componentes del balance hídrico obtenidos para la Celda 1 y 2 (arriba y abajo, respectivamente).

MES	PRECIPITACIÓN (m)	EVAPOTRANSPIRACIÓN. (m)	Q _{ENTRADA} (m ³ /día)	Q _{SALIDA} (m ³ /día)
CELDA 1				
ABRIL	0.000261	0.122028	8.8128	6.7068
MAYO	0.002626	0.105141	8.1451	7.3538
JUNIO	0.001378	0.037114	4.9050	3.6698
JULIO	0.000130	0.059435	8.3750	6.7180
AGOSTO	0.001984	0.100918	4.1544	3.7660
CELDA 2				
ABRIL	0.000320	0.149613	6.7068	5.1408
MAYO	0.003219	0.128909	7.3538	5.6379
JUNIO	0.000056	0.045504	3.6698	2.8804
JULIO	0.000160	0.072870	6.7180	4.6660
AGOSTO	0.002432	0.123731	3.7660	2.7600

Los componentes de precipitación y evapotranspiración se estimaron multiplicando los datos de la Tabla 1 por el área de la celda 1 del sistema de humedales. El gasto de entrada (Q_E) y gasto de salida (Q_S) se midieron llenando un recipiente de volumen conocido (1 litro) y tomando el tiempo de llenado, el gasto de salida de la fosa se considera como el gasto de entrada, y el gasto de entrada a la cama 2 corresponde al gasto de salida de la cama 1. El aforo se realizó durante el período señalado, de lunes a viernes en el horario de 8:00 a 16:00 hrs. También, se consideraron realizar mediciones cuatro veces al día, debido a que los gastos generados en los diferentes horarios varían, ya que en las primeras horas del día (horario de entrada en el Centro), el gasto no es significativo en comparación a los gastos medido en el horario de las 11:00 a las 14:00 hrs; al final del período se hizo un concentrado de los datos que se muestran en la Tabla 1. Una vez obtenidos los componentes necesarios para el cálculo del balance, se utiliza la fórmula de Balance Hídrico para Humedales Construidos establecida por Kadlec y Wallace (2009), la cual fue reducida de su versión original debido a las condiciones del humedal en cuestión.

$$\frac{dv}{dt} = Q_e + Q_s + P(A) - ET(A) \quad (3)$$

Donde:

- Q_e Gasto de entrada al humedal m³/s.
- Q_s Gasto de salida del humedal m³/s.
- P Precipitación mm.
- ET Evapotranspiración mm.
- t Tiempo.
- v Volumen en humedal.
- A Área de Humedal m²

En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos de cambio de volumen de agua en función del tiempo para las dos celdas que constituyen el sistema de humedales.

Tabla 9 Resultados del balance hídrico del sistema de humedales.

MES	BALANCE HIDRICO ΔS (m)
CELDA 1	
ABRIL	1.98
MAYO	0.69
JUNIO	1.20
JULIO	1.60
AGOSTO	0.29
CELDA 2	
ABRIL	1.42
MAYO	1.59
JUNIO	0.74
JULIO	1.98
AGOSTO	0.88

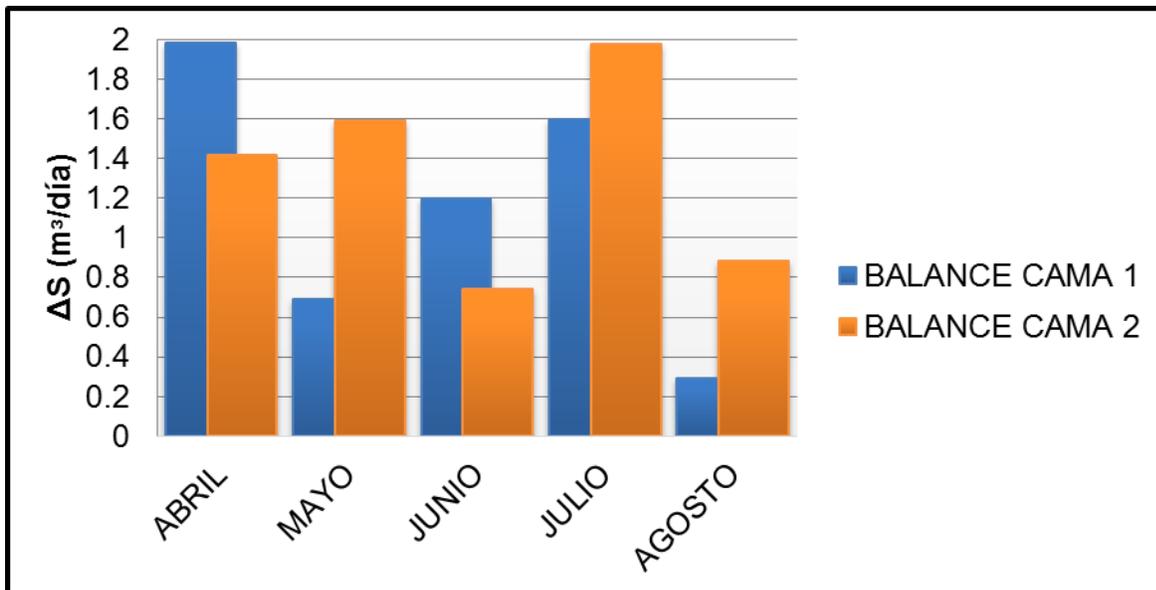


Figura 19 Cambio en volumen para las camas que componen el sistema de humedales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La estimación del balance hídrico es una componente primaria para el desarrollo de sistemas de humedales artificiales que influye en su permanencia y ecología.

Se realizó el balance hidrológico en el sistema de humedales híbrido para el período de abril a agosto de 2013.

Los cambios de volumen de agua residual en las camas que componen el sistema de humedales no muestran una tendencia particular en los meses evaluados, por lo que se recomienda realizar el análisis de balance hidrológico en forma estacional.

Se recomienda obtener datos meteorológicos históricos, precipitación y evapotranspiración, principalmente, con la finalidad de analizar el comportamiento de la región de estudio y lograr ubicar un patrón de verano-invierno para mantener altas eficiencias de remoción de contaminantes en este tipo de sistemas.

BIBLIOGRAFIA

- Aranda, D. C. (1998). Procesos del Ciclo Hidrológico. San Luis Potosí, México: Universitaria Potosina. Universidad Autónoma de San Luis Potosí Facultad de Ingeniería.
- Bedient, P., & Huber, W. (2002). Hydrology and Floodplain Analysis. Prentice Hall.
- Dugan, P. J. (1992). conservación de humedales un análisis de temas de actualidad y acciones necesarias. Gland, Suiza: UICN.
- Gilman, K. (1994). Hydrology and wetland conservation. *Chichester: Wiley*.
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). Treatment Wetlands. . Boca Raton, FL: CRC Press. Taylor & Francis Group.
- Mitsch, W., & Gosselink, J. (1993). En V. N. Reinhold. (Ed.). New York: Wetlands.
- Molles, J. M., Dahm, C., & Crocker, M. (1992). Climatic variability and streams and rivers in semi-arid regions: implications for resource management. En *Saskatoon: NHRI Symposium series*. (págs. 197–202). Environment Canada.
- Secretaría de la Convención de Ramsar. . (2013). Manual de la Conservación de Ramsar: Guía a la Convención sobre Humedales. Gland, Suiza: Secretaría de la Convención de Humedales.

CC.8.P. Impacto del cambio climático en la producción de agua del bosque mesófilo de montaña de la región Loxicha – Pluma Hidalgo, Oaxaca
Impact of climate change on water production of montane cloud forest of the loxicha region - Pluma Hidalgo, Oaxaca

Brenda Cárcamo Rico¹, Juan Antonio Leos Rodríguez², Gerardo Noriega Altamirano², Miguel Ángel Martínez Damián², José Luis Romo Lozano²

¹*Estudiante de Doctorado de la Universidad Autónoma Chapingo,* ²*Profesor de la Universidad Politécnica de Tulancingo, Hidalgo, México;* ²*Profesor – Investigador de la Universidad Autónoma Chapingo.*

RESUMEN

El objetivo del trabajo es ofrecer un análisis de las condiciones que favorecen la condensación, fuente de agua dulce para el polo turístico Bahías de Huatulco localizadas en el barlovento del Pacífico. Los datos climatológicos de los años 1940 – 1970 revelan que ingresaban 19.77 g de vapor de agua/m³, y en los años 1980 – 2000 ingresan 17.68 g/m³; la altitud media de condensación 1940 – 1970 era de 1056 msnm, y en el periodo 1980 – 2000, alcanzó los 1504 msnm; esta variación se explica por el incremento de la temperatura ambiental atribuible al calentamiento global. Este descenso en el vapor de agua que ingresa del Pacífico coloca en riesgo a 40,902 ha del bosque mesófilo de montaña y los servicios ambientales.

Palabras clave: cambio climático, servicios ambientales, bosque mesófilo de montaña.

ABSTRACT

The objective of this research is to offer an analysis to the conditions that favour the condensation of freshwater for the port turistic of Huatulco's Bahias, that it is located in the windward of Pacific. The climatological data indicate the steam water in the years 1940 - 1970 was to 19.77 g steam water /m³, but in the years 1980 - 2000 was to 17.68 g/m³. The average altitude in condensation in 1940 - 1970 was 1056 msnm whereas that in 1980 - 2000 was to 1504 msnm. This variation can be explained by the warming

global. This decrease in the steam water that comes from the Pacific is a threat to 40,902 ha of montane cloud forest and the environmental services that it produces.

Keywords: climate change, environmental services, montane cloud forest.

INTRODUCCION

Los ecosistemas forestales son importantes en la generación de servicios hidrológicos, México en el año 2000 tenía cerca de 30.1 millones de ha de selvas y 32.8 millones de bosques (Velázquez, Mas, Bocco, & Ezcurra, 2002); dentro de esta diversidad de bosques están los bosques de pino, encino, mesófilos, selvas altas, medianas y bajas. El bosque mesófilo, de montaña o bosque de neblina es un término que se refiere al conjunto de ecosistemas afines que se desarrollan en las laderas de las zonas montañosas, y su característica principal es la alta precipitación pluvial y la alta humedad atmosférica durante todo el año (Moguel, 1997). Este ecosistema ocupaba una superficie aproximada de 800,000 ha en la República mexicana, es decir, menos del 1% del territorio nacional (Rzedowski, 1996), se distribuye en 22 estados del país, siendo los principales por número de localidades: Chiapas, Oaxaca, Veracruz y el Estado de México. Sin embargo, este se encuentra afectado, por: cambio de uso del suelo hacia cultivos anuales y cultivos de temporal, de árboles frutales, cortas y talas clandestinas, ganadería extensiva e incendios forestales y por el calentamiento global, principalmente. El calentamiento global, se refiere a un incremento de la temperatura planetaria, lo que impactará en los patrones de precipitación, cuyos cambios locales alteran los ecosistemas, es decir, un desplazamiento hacia latitudes más altas, poniendo en riesgo de extinción algunas especies, e incluso la pérdida de denominaciones de origen, la cual se designa a un producto originario de una región específica, cuya calidad y características se deben únicamente al medio geográfico, comprendiendo en éste los factores naturales y los humanos.

En la región Loxicha, Oaxaca, México, se encuentra el Bosque Mesófilo de Montaña entre los 1100 y 1500 msnm ((Rzedowski, 1978); ahí los vientos húmedos provenientes del océano de la vertiente del Pacífico son quienes aportan niebla, hidrometeoro que deja agua en las ramas y hojas de la vegetación, así como en las rocas, con lo cual el bosque de niebla dispone de abundante humedad, explicando la riqueza fisonómica, ecológica, climática y florística del ecosistema; en gran parte este ecosistema se practica la cafecultura, la cual no tiene efectos perturbadores como lo causa la ganadería o el monocultivo de gramíneas, debido a que el café se encuentra bajo el arbolado del ecosistema, manteniendo y conservando la arquitectura y la biodiversidad, de ahí el nombre de café bajo sombra, en el paisaje se aprecia una alta cubierta vegetal con una arquitectura de varios estratos arbóreos, se identifican elementos de ciclos naturales como el hidrológico, del carbono, del nitrógeno, entre otros. En este agroecosistema los árboles y cafetos protegen al suelo de la erosión hídrica, abundan los manantiales y arroyos, entre otros aspectos.

Esta condición permite que el arbolado sea una barrera a la circulación regional del aire, donde tallos, ramas y hojas presentan una menor temperatura con respecto a la temperatura ambiental de áreas carentes de vegetación, lo que favorece que se condensen numerosas gotitas de agua que aportan a la precipitación media anual. Además la presencia de la cubierta arbolada reduce el movimiento del aire por fricción, modifica la temperatura ambiental y la humedad atmosférica, absorbe la energía cinética de la lluvia en la intercepción por hojas, ramas y tallos, lo que permite el flujo por los tallos y una mayor infiltración del agua en el suelo, evitando erosión y remoción de sedimentos.

En este bosque y el agroecosistema cafetalero, destacan la producción de servicios ambientales, donde destacan: protección hidrológica de cuencas, belleza escénica, biodiversidad y recreación; los cuales no son valorados desde el rol que juegan en el ambiente, ni económicamente. Darles un valor a éstos, no sólo se refiere a asignarles un valor económico, sino que se debe establecer el contexto en el cual se valora su importancia. El objetivo de la investigación fue registrar los cambios en elementos del clima, registrar los árboles encontrados en los cafetales bajo sombra, indicar la riqueza biológica del agroecosistema cafetalero y estimar la disposición a pagar por la industria hotelera, utilizando el método de valoración contingente que ha permitido identificar la disponibilidad de realizar aportaciones voluntarias por la industria hotelera.

METODOLOGIA

La zona de estudio se ubica en la región Loxicha, localizada a 120 km al sur de la ciudad de Oaxaca, comprende la parte alta de la cuenca del Río Copalita ubicándose comunidades como Candelaria Loxicha a los 450 msnm, San Agustín Loxicha en los 1820 msnm. La vegetación corresponde a Selva Mediana Subperennifolia, Bosque Mesófilo de Montaña y Selva Mediana Perennifolia (Pennington & Sarukhán, 2005), ((Rzedowski, 1978); (Miranda & E. Hernández, 1963). Ahí, se identifican los tipos climáticos: (A)C(w₂), Aw₁, Aw₀, cálidos subhúmedos en la zona próxima al litoral del pacífico y C(w₂), Cb'(W₂), templados subhúmedos en la parte alta de la cuenca. La cercanía al mar permite que la circulación de los vientos cálidos húmedos choquen con la sierra, además de la convección local, el aire se enfría y genera la condensación, fenómeno que aporta humedad a los ecosistemas y al agroecosistema cafetalero. Las tormentas y ciclones tropicales influyen en el régimen de precipitación, ocasionan lluvias intensas y prolongadas en los meses de julio a octubre, lo cual además lixivia a los suelos.

Delimitación de la cuenca y subcuencas.

Para identificar el área de estudio y las comunidades rurales donde se encuentra actualmente el bosque mesófilo de montaña, se adquirió cartografía vectorizada para

identificar la cuenca que alberga este ecosistema y las subcuencas que integran la cuenca; para ello se utilizó el programa Arc View 3.2 e imágenes de satélite.

Comunidades rurales.

El trabajo se realizó en cinco comunidades, a saber: (1) Pluma Hidalgo; (2) Tierra Blanca; (3) Buena Vista; (4) San Vicente Yogondoy Loxicha y (5) San Bartolomé Loxicha; debido a que son las comunidades más representativas del bosque mesófilo de montaña, se tomaron mediciones de la cafecultura bajo sombra. En esas comunidades se realizaron dos actividades: (a) caracterización de la agroecosistema cafetalero; (b) el diagnóstico de la biodiversidad con los criterios del Smithsonian Migratory Bird Center, aplicando el manual de café bajo sombra.

Cálculo de la humedad relativa.

Para estimar la cantidad de agua que ingresa por m^3 del Pacífico, se utilizaron datos de las normales climatológicas de los años 1940 – 1970 y 1980 – 2000, reportados por el Servicio Meteorológico Nacional, apoyados con las tablas psicométricas se calculó la humedad relativa la temperatura de punto de rocío, la humedad absoluta y la altitud de condensación.

Caracterización del agroecosistema cafetalero.

En las comunidades rurales mencionadas anteriormente, se aplicaron encuestas a una muestra de 10 productores/ comunidad, con ello se caracterizó el agroecosistema, así como el nivel tecnológico del proceso de producción agrícola.

Diagnóstico de la biodiversidad.

Se utilizó la metodología desarrollada por Rice y Drening (2003) por el Smithsonian Migratory Bird Center (SMBC, 2003.) y se evaluaron los sistemas de producción de café amigable con las aves “Bird Friendly”, los criterios de esta metodología consisten en: (1) la altura mínima de los árboles debe de ser de 12 metros; (2) exista diversidad arbórea de al menos 10 especies; (3) exista cubierta vegetal; y (4) que el número de estratos en el cafetal sea de tres con un mínimo de 40% de sombra. Este diagnóstico, se realizó en una muestra de 10 cafetales por comunidad explorada, y cada cafetal se georreferenció con GPS Garmin a partir de un árbol emergente donde se toma un círculo de 25 m, con cuatro cuadrantes equivalentes a $1964 m^2$, y se realizó el conteo de especies arbóreas de sombra en los cuatro cuadrantes con ayuda de los cafecultores; la cobertura de sombra se midió con densiómetros; la altura del dosel se midió con plancheta dendrométrica; la caracterización de los cafetales se hizo con la clasificación Gestalt. La información se procesó en el formato de inspección del SMBC.

Cálculo de la disposición a pagar de la industria hotelera.

Estimar la disposición a pagar por la disponibilidad de agua dulce por parte de la industria hotelera requirió la identificación de los hoteles establecidos en el Parque Nacional Bahías de Huatulco, y el diseño de una encuesta.

El cuestionario se dividió en tres partes, a saber: (a) cuestiones generales; (b) preguntas de percepción; y (c) descripción del escenario de valoración. El total de preguntas de la encuesta fue de 15. La aplicación del cuestionario inició con una explicación detallada del objetivo del trabajo de investigación, dejando claro que el uso de la información es confidencial y restringido a uso universitario y que los resultados servirán para hacer propuestas que coadyuven al manejo y conservación del bosque mesófilo de montaña de la región Loxicha, Oaxaca. Se aplicaron un total de 53 encuestas a la zona hotelera de Bahías de Huatulco, de las cuales se descartaron 18 encuestas por no contener información coherente, quedando finalmente una muestra de 35 encuestas.

El modelo logit binomial que se utilizó para estimar la disposición a pagar, es el siguiente:

$$\text{Prob (Si)} = \alpha_0 + \alpha_1 \text{PSABIH} + \alpha_2 \text{CH} + \alpha_3 \text{PARAMAC} + \alpha_4 \text{CBSA} + \alpha_5 \text{FGMDAP} + \alpha_6 \text{CMA} + \alpha_7 \text{IAAOH} + \epsilon_1$$

La variable dependiente binaria representa la probabilidad de responder SI a la pregunta de disponibilidad a pagar por conservar y realizar acciones de manejo en el bosque mesófilo de montaña y seguir gozando de los beneficios que brinda este bosque al parque nacional Bahías de Huatulco. Esta variable depende de la percepción de que los servicios ambientales benefician a la industria hotelera (PSABIH), de la categoría del hotel (CH), de la percepción ambiental de realizar actividades de manejo y conservación (PARAMC), del conocimiento del beneficio que otorgan los servicios ambientales (CBSA), del conocimiento del consumo mensual de agua del hotel (CMA), y del ingreso anual aproximado de la ocupación hotelera, el cual abarca las diferentes temporadas en el año: alta, media y baja, (IAAOH) y de la facultad que tiene el gerente de manifestar la DAP del hotel (FGMDAP).

RESULTADOS Y DISCUSION

Uso de Suelo del Río Copalita.

La cuenca tiene una extensión de 342,128.13 ha, donde se identifica que los ecosistemas se distribuyen paralelos a la línea del litoral; el bosque mesófilo de montaña ocupa 40, 902 ha, identificándose tres corredores; (a) Loxicha-Pluma; (b) San Mateo Piñas hacia San Miguel del Puerto; y (c) en la porción sur de Santa María Ozolotepec. El bosque de niebla se distribuye en cuatro archipiélagos y revela fragmentación.

Evidencias de Calentamiento Global.

El clima es concebido como el promedio de las condiciones meteorológicas, por ello los periodos: 1940 – 1970 y 1971 – 2000 se han utilizado para comparar algunos elementos del clima; la información proveniente del observatorio meteorológico Salina Cruz, Oaxaca advierte un calentamiento en la atmósfera.

Temperatura Media.

El comportamiento de la temperatura media revela un incremento de 0.74 °C; febrero muestra un incremento de 0.9 °C, septiembre y noviembre de 1.2 °C. En el caso del observatorio Acapulco de noviembre a febrero se registra un incremento en la temperatura media de 0.3 a 0.6 °C.

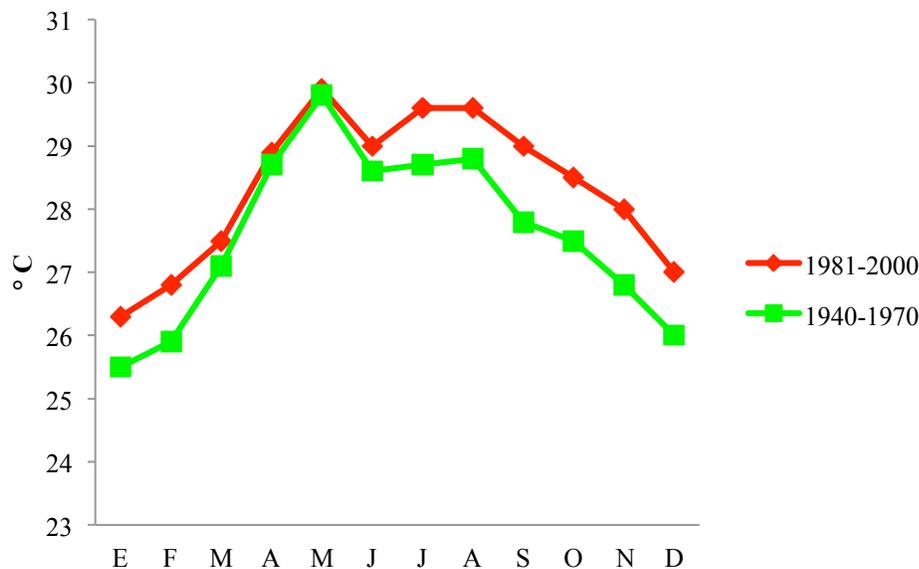


Figura 20 Comportamiento de la temperatura ambiental en el periodo 1940-1970 y 1981-2000 en el Observatorio Salina Cruz, Oaxaca. Fuente: Elaboración propia.

Humedad Absoluta.

En el periodo 1940-1970 ingresaban 19.77 g de vapor de agua/m³ de aire; mientras que en el periodo 1981-2000 17.68 g/m³. Estos valores indican la cantidad de vapor de agua para formar los hidrometeoros característicos del bosque de niebla. No debe omitirse que esta reducción de vapor de agua influye en el ciclo hidrológico, impactando de octubre a abril, época de estiaje.

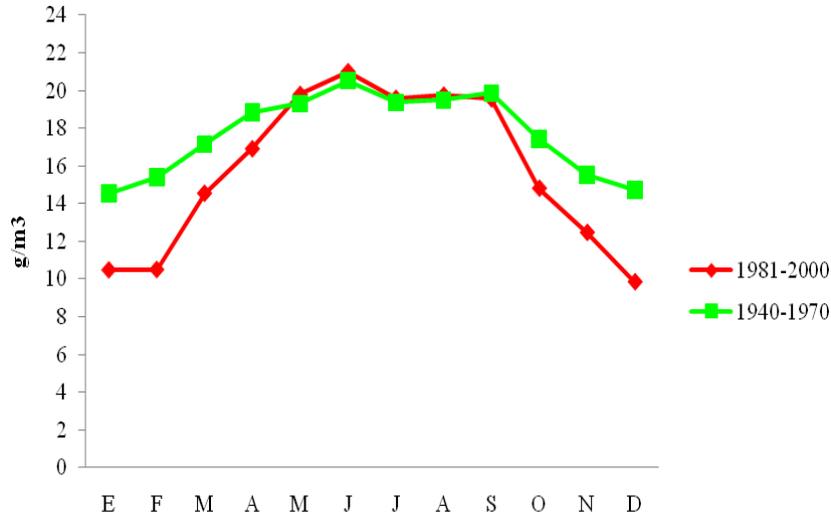


Figura 21 Comportamiento de la humedad absoluta en el periodo 1940-1970 y 1981-2000 en el observatorio Salina Cruz, Oaxaca. Fuente: Elaboración propia.

Altitud de Condensación.

Considerando la humedad relativa que ingresa del Océano Pacífico para el periodo 1940-1970 la altitud media de condensación era de 1056 msnm; para el periodo 1970-2000 alcanzó los 1504 msnm. Este comportamiento se atribuye al incremento de la temperatura ambiental, así como al descenso en los valores de humedad relativa, esto indica que se formarán nubes a mayores altitudes y más frías. Esto puede atribuirse al calentamiento global.

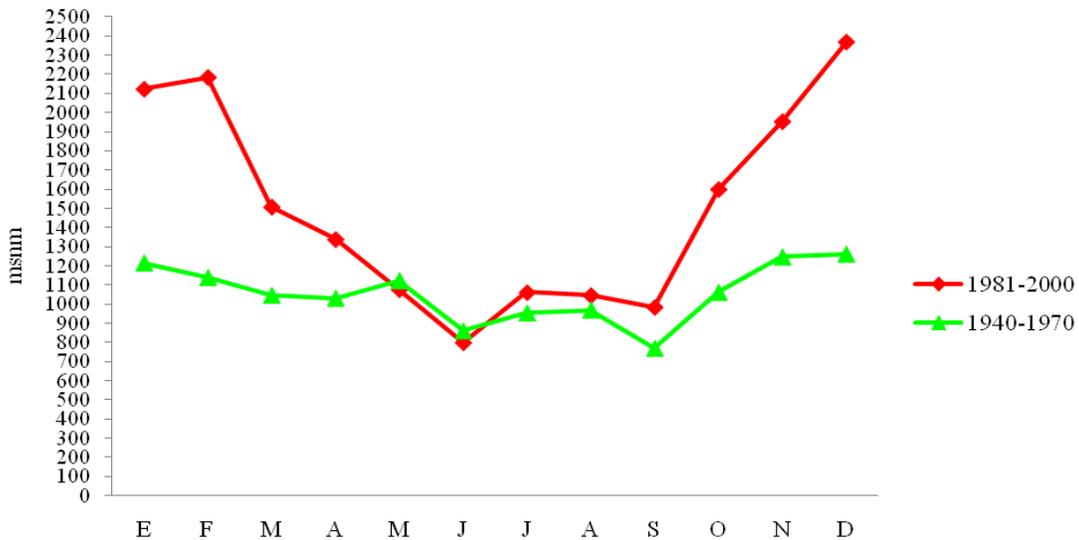


Figura 22 Comportamiento de la franja de condensación a partir de la humedad relativa que ingresa del Golfo de Tehuantepec, Oaxaca.

Los resultados advierten que la región es más caliente y con menor humedad relativa, lo cual influirá en la distribución del bosque de niebla, así como del agroecosistema cafetalero.

Biodiversidad del Agroecosistema Cafetalero.

Como resultado del muestreo de la cafecultura regional Loxicha – Pluma Hidalgo en Oaxaca, se evaluaron 4467 individuos de 50 cafetales donde se encontraron 239 especies arbóreas que se emplean como sombra del café, en su mayoría especies nativas, además de esta función brindan madera, leña, frutos y uso medicinal.

En el agroecosistema cafetalero se han identificado siete especies de árboles, de los ocho encontrados como emergentes, estos son: (1) cuil (*Inga edulis*); (2) palo de mujer (*Alchornea latifolia* Swartz); (3) ocote (*Pinus maximinoi* Moore); (4) cerezo (*Andira inermis* (W. Wright) DC.); (5) macahuite (*Ficus tecolutensis* (Liebm.) Miq.); (6) amole (*Sapindus saponaria* L.); y (7) sangre de drago (*Croton draco* Schltdl.). Otro de los árboles emergentes aún no identificado es el aguacatillo (*Phoebe* sp). La mayoría de los árboles emergentes rebasan los 30 m de altura y su diámetro normal es mayor a 50 cm, constituyen una barrera a la circulación regional de los vientos y por fricción favorecen a la condensación del vapor de agua.

La riqueza de especies se estimó con el índice de diversidad de Margalef, que alcanzó 28.32 y el de Menhinick con 3.57 para la riqueza de especies. Los índices de McIntosh con 0.84 y Simpson con 0.97. Para el índice de Margalef, valores inferiores a 2,0 se relacionan con zonas de baja diversidad (en general como resultado de efectos antropogénicos), y valores superiores a 5.0 son considerados como indicativos de alta biodiversidad; junto con el índice de Menhinick expresan la riqueza específica de una forma sencilla, teniendo en cuenta simultáneamente el número de especies y el número de individuos presentes en las muestras. Los índices obtenidos indican una alta riqueza de especies arbóreas con respecto al total de sitios muestreados.

Los índices de Simpson y McIntosh, son índices que expresan la dominancia de las especies, valores cerca de cero que corresponde a ecosistemas muy diversos o heterogéneos y valores cercanos a 1 corresponden a ecosistemas más homogéneos, influenciados por la abundancia de las especies más comunes; el de Simpson expresa la probabilidad de que dos individuos tomados al azar pertenezcan a la misma especie; si la dominancia es grande la probabilidad es baja y máxima si las abundancias relativas de las especies son iguales. Estos índices revelan que en el agroecosistema cafetalero estudiado la dominancia relativa de la mayoría de las especies son iguales.

Caracterización del agroecosistema cafetalero.

En la región Loxicha existen 55, 291 productores de café, los cafetales en las comunidades indígenas estudiadas, en promedio tienen una edad de 15 a 30 años, ello indica que la mayoría de las parcelas se han conservado sin la eliminación del arbolado desde que fueron establecidos; carentes de regulación de la sombra del

arbolado nativo; presentan más de tres estratos arbóreos con una cobertura de sombra de 80 a 90%; es una cafecultura de bajos insumos y rendimientos, con cafetos viejos, sin renovación y desarrollándose en suelos lixiviados por las altas precipitaciones. El arbolado en los cafetales protege a los suelos de la alta agresividad de la lluvia de huracanes como Paulina, Carlotta, entre otros.

Disposición a pagar.

Del total de los hoteles encuestados el 57% está dispuesto a aportar para la conservación del bosque mesófilo de montaña y se realicen prácticas de manejo en el agroecosistema cafetalero para garantizar el suministro de este recurso hídrico indispensable en la oferta de los servicios del sector hotelero. Los resultados del modelo, indican que de las siete variables, solo el ingreso anual aproximado del hotel con un valor de $p= 0.0227$, es estadísticamente significativo, lo que significa que a mayor ocupación hotelera su disposición a pagar es mayor.

CONCLUSIONES

La industria hotelera tiene disponibilidad para conservar este ecosistema y el agroecosistema cafetalero mediante aportaciones voluntarias, lo que contribuiría a sentar las bases para crear un mercado en los servicios ambientales, en particular de la selva Loxicha, donde se realizó el estudio, la cantidad que se recaudaría anualmente es de \$74,463.97 pesos, cantidad que resulta insuficiente dado que en la región Loxicha existen 55, 291 productores que depende de la cafecultura cuyos ingresos anuales en promedio/año son de \$2,385.40, algunos de ellos tienen apoyo gubernamental de pago por servicios ambientales pero, estos programas gubernamentales tienen una duración de 1 a 5 años, por ello se propone incluir a las industrias que se benefician directamente de este recurso y se ha vuelto un negocio muy lucrativo, un ejemplo de ello es la industria del agua embotellada, cuyos ingresos tan solo en 2011 fueron de 10 mil millones de dólares, en México se consumen 243.6 litros de agua embotellada, ello significa el primer lugar a nivel mundial en el consumo de este bien. Esta propuesta pretende mejorar los ingresos de éstos indígenas, con el propósito de que no se realice un cambio de uso del suelo, para ello, se requiere hacer partícipes a todas aquellas industrias que requieren este recurso para su operación y venta de sus productos, lograr esto, requiere hacer una modificación en la Ley Forestal de Desarrollo Sustentable; la Ley de Aguas Nacionales y la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y definir el concepto de pago por servicios ambientales y quienes serían sujetos de pago.

La información de los datos meteorológicos revela evidencias de cambio climático, incrementos en la temperatura ambiental y la condensación está ocurriendo en zonas más altas, lo ocasionaría que se perdiera la denominación de origen del café Pluma Hidalgo, de la región Loxicha. El café exige alta humedad relativa, por ello las

evidencias de cambio climático exigen prácticas de manejo, además de promoverse la conservación y reproducción de ***Alchornea latifolia***.

La diversidad en el arbolado del agroecosistema cafetalero en la región Loxicha- Pluma Hidalgo representa una estrategia para conservar recursos genéticos; la arquitectura del agroecosistema cafetalero ayuda a regular la agresividad de la lluvia, por ejemplo en el evento lluvioso de Carlotta la precipitación alcanzó valores próximos a 300 en alrededor de 60 horas, por ello el arbolado de sombra sirve de protección en la parte alta de la cuenca abatiendo la erosión hídrica y el riesgo de inundaciones; participa en la captura de carbono, entre otros. La biodiversidad es clave para garantizar los servicios ecosistémicos regionales y locales. Por lo anterior, deben emprenderse acciones para garantizar a los cafetaleros una compensación económica condicionada a que desarrollen prácticas para conservar la estructura del cafetal y mejorar los servicios ambientales que brinda la parte alta de la cuenca, en particular la producción de agua por condensación.

Este aromático de la variedad Pluma Hidalgo que se produce bajo condiciones de manejo orgánico y bajo sombra debería promoverse ante los consumidores como un café gourmet, ello requiere de una política que promueva la certificación como café de sombra en el marco del movimiento desarrollado por el Centro Smithsoniano de Aves Migratorias; además el Estado en su política pública debe fomentar la cafecultura regional considerando que los cafetales se encuentran desnutridos, con deficiencias en el manejo fitosanitario; situación donde los productores demandan apoyos técnicos para mejorar sus cafetales sin deteriorar la vegetación nativa y no transitar hacia un cambio en el uso del suelo, lo cual afectará al fenómeno de condensación.

BIBLIOGRAFÍA

- Azqueta, D. (1994.). Valoración económica de la calidad ambiental. . Madrid: McGraw Hill.
- Castelán, L. M. (2009). Índices de diversidad en el agroecosistema cafetalero de Santa María Acatepec, Oaxaca. . *Memoria del 16° Encuentro de Investigadores en Preparatoria Agrícola*. , pp. 281-284. .
- Del Pino, J. O., Zamora, R., & Oliet, J. A. (2004). Empleo de diferentes índices de biodiversidad en los modelos basados en técnicas de decisión multicriterio. Departamento de Ingeniería forestal. . 14 p. Universidad de Córdoba. .
- FAO, (. A. (2007). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. . *Pagos a los agricultores por servicios ambientales*. . Roma: Colección FAO: Agricultura N° 38. .
- Hanemann, W. (1994). Valuing the environment through contingent valuation. . *Journal of Economic Perspectives*, 8(4):19-43.

- Miranda, F., & E. Hernández, X. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. En *Bol. Soc. Bot. Méx.* (págs. 28:29-179.).
- Moguel, P. (1997). Producción de café y desarrollo sustentable en México: ¿Realidad o utopía? *Economía Informa*,, 253, 65 -77.
- Moreno, C. E. (2001). Métodos para medir la biodiversidad. *M&T–Manuales y Tesis SEA, vol.1.* , 84. Zaragoza.
- Pennington, T. D., & Sarukhán, J. (2005). Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies. . 3era, 523 . México, D. F: UNAM. Fondo de Cultura Económica.
- Rice, A. R., & Drenning, J. (2003). Manual de café bajo sombra. . 63. Washington, DC. EUA: National Zoological Park.
- Rzedowski, J. (1978). Vegetación de México. México, D.F: LIMUSA.
- Rzedowski, J. (1996). Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica Mexicana*, (págs. 35:25-44.).
- Smithsonian Migratory Bird Center. . (2003.). Manual de café bajo sombra. . Washington. D. C. : National Zoological Park.
- Taylor, J. (2000). Economía. México: CEECSA.
- Velázquez, A., Mas, J. F., Bocco, G., & Ezcurra, E. (2002). Patrones y tasa de cambio de uso del suelo en México. . *Gaceta ecológica*, págs. 62:21-37.

CC.9.P. Evaluación del potencial de captura de carbono y análisis de suelos en un sistema pastoril de *Brachiaria brizantha*, en la subcuenca alta del río las piedras y el municipio de Popayán, departamento del Cauca - Colombia

Cristian Gasca Silva, Edier Humberto Pérez, Apolinar Figueroa Casas

Grupo de Estudios Ambientales (GEA), Departamento de Biología, Universidad del Cauca, Colombia.

cgasca@unicauca.edu.co

INTRODUCCION

La ciudad de Popayán se encuentra entre las cordilleras Central y Occidental en el sur de Colombia, y está situada entre los valles del Río Cauca, en la dirección norte, y el río Patía, en la dirección sur (Wille & Hooghiemstra, 2000). La Subcuenca del río Las Piedras está ubicada al noreste del municipio de Popayán, sobre el flanco occidental de la cordillera Central, hace parte de la cuenca alta del río Cauca. La temperatura media de la región es relativamente estable; su variación está determinada por los pisos altitudinales y varía entre los 18.4 °C en la parte baja y los 10.4 °C en el páramo. El rango de altitud de la cuenca es 3820-1980 m.s.n.m.; presentando los pisos térmicos páramo, frío y templado, que corresponde a las formaciones de bosque subandino y bosque andino (Aldana, Bravo, Montoya, Roatta, & Ruiz, 2004); (UDC; COLCIENCIAS, 2012).

A nivel de Colombia, particularmente en el departamento del Cauca, los procesos de antropización están afectando los ecosistemas altoandinos, generando efectos negativos en especies animales y vegetales, además de los recursos naturales agua y suelo (CCC, 1999); (CRC, 2000); (Paz, 2011); (Ramírez Velásquez & Ortiz Ramírez, 1988). Actualmente, se están observando procesos antrópicos que son de interés para el estudio del impacto ambiental por causa de estas actividades; como la subcuenca abastece de agua para consumo humano a la Meseta de Popayán, la dinámica de los ciclos biogeoquímicos de carbono en esta cuenca resultan de vital importancia, y cualquier perturbación antropogénica inducida se verá reflejada en la calidad de los recursos mencionados (CCC, 1999); (Paz, 2011)..

Debido a que este tipo de agroecosistemas en general, acumulan carbono en cuatro grandes componentes (Giraldo, Zapata, & Montoya, 2008), (Rodríguez, Corrales, &

Pratt, 1998): biomasa aérea (o biomasa sobre el suelo), hojarasca, sistema radicular y carbono orgánico del suelo, Se plantea esta propuesta, como una base para identificar el impacto ambiental de los cultivos de pastos, particularmente de la especie *Brachiaria brizantha*, destinados concretamente en uso para pastoreo y su relación con la calidad nutricional de los suelos altoandinos en la ciudad de Popayán y en la cuenca alta del río las Piedras. Conocer estos fenómenos aportará en la determinación de los niveles de captación de carbono por estos cultivos, en diferentes estadios de desarrollo de la planta, promoviendo efectos benéficos para el ambiente por contribución en la mitigación del cambio climático a causa de captura del dióxido de carbono atmosférico, además de evaluar las condiciones químicas del suelo donde se desarrollan este tipo de cultivos.

Los suelos de esta zona están destinados en su mayoría a la ganadería, la relación entre la calidad del suelo y el nivel nutricional del forraje de pasto cultivado, permitirá basar la alimentación en el uso intensivo de los pastos y forrajes, debido a que pueden producir a bajo costo una parte sustancial de los nutrientes requeridos por los hatos de ganado bovino (Sánchez, 2000). Para que las pasturas realmente hagan aportes significativos a la economía en esta región, será significativo que el productor conozca el estado fisiológico de mayor producción y mejor calidad en que debe cosecharlas, así como sus bondades y limitaciones para satisfacer las necesidades nutricionales de los animales, razón por la cual se propone el análisis bromatológico del forraje de *B. brizantha*.

METODOLOGIA

Zona de muestreo

La investigación se desarrolló en el Departamento del Cauca, Municipio de Popayán y en la vereda Clarete, finca Arrayanales, ubicada en la sub cuenca alta del Río las Piedras, con coordenadas 76° 31' 10" Oeste y 2° 21' 45" Norte, a una altura aproximada de 2464 m.s.n.m., con un rango promedio de temperatura 10 - 14 °C y una precipitación anual de 1946.5 mm.(Aldana, et al., 2004). El municipio de Popayán se encuentra a una altura aproximada de 1850 m.s.n.m., presenta un rango promedio de temperatura de 12 – 25 °C y precipitación anual de 2140 mm (Wille & Hooghiemstra, 2000).

Muestreo de suelos

Se delimitó un área de muestreo, teniendo en cuenta el tipo de uso del mismo. Se definió una parcela de cultivo, sin intervención antrópica, de un área de 200 m². Se procedió a tomar una muestra compuesta (conformada por 10 submuestras), en 3 secciones de la parcela, a una profundidad de 10 cm, recolectándolas cada metro siguiendo una trayectoria en zigzag; posteriormente se almacenó aproximadamente 1 Kg de la muestra y se llevaron a sequedad a 35° para los posteriores análisis.

Cultivo de pasto

Definida la parcela de muestreo, se realizó un proceso de limpieza y arado en la misma. Se procedió a sembrar la semilla de *Brachiaria brizantha* cv. Toledo (Semillano, Registro importador ICA 961, Lote 672) a una distancia de un (1) metro entre cada una de ellas. En la ciudad de Popayán, el cultivo se implementó en el laboratorio del Grupo de Estudios Ambientales (GEA), para ello se utilizaron dos cámaras ambientales BIOTRANERRE MARK III, simulando las condiciones ambientales del lugar de recolección original. La siembra de las semillas se realizó en materas plásticas con un volumen de 600 cm³.

Tasa de Crecimiento fotosintética de *Brachiaria brizantha*

Para la estimación de la captura de carbono, con base en la tasa de crecimiento fotosintética (TCF), se aplicó el método de existencias (Seppänen, 2002). En este método se estiman las existencias de carbono en dos diferentes momentos y la diferencia entre ellos indica la cantidad de carbono fijado en la biomasa. El equivalente en dióxido de carbono indica la cantidad de CO₂ absorbido de la atmósfera (Amézquita, Murgueitio, Ibrahim, & Ramírez, 2010)(Amézquita, Van Putten, Ibrahim, Ramirez, Giraldo, & Gomez, 2006). El seguimiento de la TCF, en las dos zonas de estudio, se realizó por el primer mes cada quince días y por los tres meses subsecuentes cada 30 días. Se tomaron 5 muestras de pasto, de forma aleatoria simple, en cada estadio de desarrollo y se determinó la masa total, la masa aérea (correspondiente a tallo y hojas) y la masa radicular. Los resultados se expresaron en términos de porcentaje en peso.

Análisis elemental en pasto Toledo

El contenido de los elementos C, H, N y S total, en la muestra de pasto Toledo, se determinó en un analizador elemental Perkin Elmer 2400 Series II CHNS/O System, en el Laboratorio de Servicios Analíticos del Centro Internacional de Agricultura Tropical

(CIAT). Las muestras se analizaron por triplicado para cada estadio de desarrollo durante los meses de cultivo.

Análisis Bromatológico de *Brachiaria brizantha*

El análisis bromatológico de las hojas de pasto, en las dos zonas de estudio, se realizó en la Unidad de Análisis Industriales (UAI) de la Universidad del Cauca, siguiendo protocolos estandarizados de trabajo (Carlier, Cottyn, & Aerts, 1976). Los análisis se desarrollaron por triplicado, en las muestras obtenidas al finalizar el periodo de cultivo. Se determinó Porcentaje de humedad, contenido de cenizas, proteína, grasa, fibra y carbohidratos totales.

Análisis Químico de suelos

El análisis químico de suelos se realizó en el laboratorio de Agroquímica de la Universidad del Cauca con base en protocolos estandarizados de trabajo (Codazzi, 2006); (Mosquera, Bravo, & Hansen, 2007); (Rebecca, 2004). Se estudiaron tres muestras de suelo (análisis por triplicado), una correspondiente a las condiciones iniciales del suelo, y las dos restantes correspondientes al estadio final de cultivo en las dos zonas de estudio. Los parámetros analizados fueron: Densidad aparente, textura, humedad de campo, humedad higroscópica, pH, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, azufre, carbono orgánico, capacidad de intercambio catiónico (CIC), macronutrientes (Na, K, Ca y Mg) y micronutrientes (Fe, Mn, Cu y Zn).

RESULTADOS

Tabla 10 Análisis de suelo al inicio y final del cultivo de *Brachiaria brizantha*

Parámetro analizado	Muestra			Parámetro analizado	Muestra		
	M _i	Zona 2	Zona 1		M _i	Zona 2	Zona 1
D. aparente (g/cm ₃)	0,79±0,2	0,79±0,2	0,79±0,2	Fósforo (mg/Kg suelo)	22,9±0,5	33,8±0,5	38,4±0,5
H. de Campo (%)	61,39±1,03	67,65±1,03	61,39±1,03	Nitrógeno (%)	0,32±0,03	0,26±0,03	0,29±0,03
H. Higroscópica (%)	8,01±0,50	9,01±0,50	8,32±0,50	Azufre (mg/Kg suelo)	24,2±0,7	25,5±0,7	28,2±0,7
Arena total (%)	78,61±0,51	80,44±0,51	81,15±0,51	Mg ²⁺ (m _{eq} /100 g suelo)	16,58±0,02	13,01±0,02	8,03±0,02
Limo(%)	5,94±0,51	6,60±0,51	5,45±0,51	K ⁺ (m _{eq} /100 g suelo)	0,89±0,02	0,62±0,02	0,32±0,02
Arcilla total (%)	15,45±0,51	12,96±0,51	13,40±0,51	Na ⁺ (m _{eq} /100 g suelo)	0,83±0,02	0,60±0,02	0,42±0,02
Textura	Franco arenoso			Ca ²⁺ (meq/100 g suelo)	9,05±0,02	2,96±0,02	2,29±0,02
pH (1:2:5)	6,18±0,15	6,32±0,15	6,16±0,15	Fe ²⁺ (m _{eq} /100 g suelo)	0,242±0,001	0,152±0,001	0,130±0,001
Carbono orgánico (%)	6,68±0,25	7,07±0,25	7,06±0,25	Cu ²⁺ (m _{eq} /100 g suelo)	<0,0033	<0,0033	<0,0033
Materia orgánica (%)	11,51±0,25	12,20±0,25	12,17±0,25	Mn ²⁺ (m _{eq} /100 g suelo)	0,020±0,001	0,005±0,001	0,006±0,001
CIC (m _{eq} /100 g suelo)	47,9±0,6	45,6±0,6	50,7±0,6	Zn ²⁺ (m _{eq} /100 g suelo)	0,005±0,001	0,002±0,001	0,003±0,001

M_i: Muestra de suelo en condiciones iniciales previas a la implementación del pasto Toledo.

Zona 1: Muestra de suelo en la subcuenca de Arrayanales luego de 4 meses de cultivo.

Zona 2: Muestra de suelo en la ciudad de Popayán luego de 4 meses de cultivo.

M_{eq}/100 g suelo: Miliequivalentes por 100 gramos de suelo seco.

Tabla 11 Captura de carbono por *Brachiaria brizantha* en las zonas de estudio

Zona 1								
Tiempo (días)	Ton C/Ha				Ton CO ₂ /Ha			
	Total	Raíz	Tallo	Hojas	Total	Raíz	Tallo	Hojas
15	0,012	0,0055	0,0019	0,0044	0,043	0,020	0,0070	0,016
30	0,031	0,0082	0,0078	0,015	0,11	0,030	0,029	0,055
60	0,69	0,080	0,28	0,33	2,51	0,29	1,02	1,20
90	2,29	0,40	0,62	1,26	8,38	1,48	2,27	4,63
120	3,18	0,47	0,93	1,78	11,66	1,73	3,42	6,51
Zona 2								
Tiempo (días)	Ton C/Ha				Ton CO ₂ /Ha			
	Total	Raíz	Tallo	Hojas	Total	Raíz	Tallo	Hojas
15	0,017	0,0013	0,0090	0,0070	0,063	0,0048	0,033	0,026
30	0,051	0,014	0,028	0,0093	0,19	0,051	0,10	0,034
60	0,33	0,22	0,061	0,046	1,20	0,81	0,22	0,17
90	0,54	0,33	0,10	0,11	1,98	1,21	0,37	0,40
120	0,93	0,56	0,14	0,23	3,41	2,05	0,51	0,84
150	1,57	0,87	0,20	0,50	5,76	3,19	0,73	1,83

Ton C/Ha: Toneladas de carbono por hectárea

Ton CO₂/Ha: Toneladas de CO₂ por hectárea.

Tabla 12 Análisis elemental del pasto Toledo.

Zona 1				
Tiempo (días)	%C	%H	%N	%S
15	38,05	9,73	11,67	0,27
30	37,62	9,87	13,01	0,22
60	37,00	9,57	14,13	0,17
90	37,56	9,55	16,07	0,15
120	38,62	9,09	25,34	0,16
Zona 2				
15	37,29	9,48	4,82	0,04
30	39,60	9,36	8,77	0,02
60	40,27	6,33	11,11	0,29
90	38,50	6,24	13,92	0,04
120	37,73	6,17	16,17	0,03

Tabla 13 Análisis proximal del forraje de pasto luego de cuatro (4) meses de cultivo.

Muestra	Zona 1		Zona 2		
	ANÁLISIS	Base Seca (%)	Base Húmeda (%)	Base Seca (%)	Base Húmeda (%)
Humedad (Muestra)	----		69.66 ± 3.04	----	76.93 ± 5.41
Materia Seca (Muestra)	100		30.34 ± 3.04	100	23.07 ± 5.41
Cenizas	4.22 ± 0.24		1.28 ± 0.07	6.52 ± 0.78	1.50 ± 0.18
Proteína (F=5.70)	58.52 ± 2.96		17.75 ± 0.90	70.34 ± 4.65	16.22 ± 1.07
Grasa	9.75 ± 0.02		2.96 ± 0.01	3.66 ± 0.02	0.84 ± 0.01
Fibra	15.32 ± 0.36		0.0148 ± 0.0003	16.58 ± 0.14	0.0154 ± 0.0001
Carbohidratos Totales	12.19		8.33	2.9	4.49

DISCUSION DE RESULTADOS

Estimar el potencial de captura de carbono en un ecosistema es una tarea que dependerá de una serie de factores entre los cuales se puede citar la especie de planta o accesión de la misma, fertilidad del suelo, temperatura ambiente, irradiación solar, disponibilidad de agua y manejo de la planta (edad, estado vegetativo, frecuencia e intensidad de pastoreo o cosecha, nivel y clase de fertilizante utilizado, control de malezas, plagas y enfermedades). Para realizar una aproximación certera de este parámetro se debe tener en cuenta cada uno de estos factores y determinar qué condiciones favorecen mayormente la captura de este elemento a nivel atmosférico en un lugar específico (Hopkins, 2000).

Con base en lo anterior, y con el propósito de establecer el cultivo de pasto Toledo, se realizó el análisis químico de suelos, para conocer las condiciones nutricionales del terreno en el estadio inicial de la investigación. El análisis por absorción atómica de los macronutrientes, tabla 1, indicó que las concentraciones de calcio, magnesio, potasio y sodio son superiores a los valores óptimos ($> 6, 1.5, 0.25$ y 0.1 meq/100 g de suelo respectivamente). Esto puede estar asociado a procesos de fertilización del suelo en cultivo previos a los del pasto implementado y a excesivo uso de abono en la zona para cultivo de hortalizas y frutas. El objetivo de estudiar este fenómeno se debe a la gran influencia en las características físicas y químicas del suelo debido a que permite conocer la capacidad de retención de los nutrientes añadidos con la fertilización o procedentes de la meteorización de rocas o mineralización de la materia orgánica (Barrios, y otros, 2005); (Fassbender & Bornemisza, 1994); (Montoya & Araujo, 1990a).

Los suelos analizados presentaron una textura franco arenosa, que promueve la estabilización de la materia orgánica (MO) producto de su interacción con las arcillas y limos a pesar de su baja proporción. El bajo contenido de arcillas lo hace apropiado para aplicaciones agrícolas, por el drenaje y sus características migajosas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que las proporciones de arenas, arcillas y limos no son cercanas, según se indica en la tabla 1, lo que implica que la capacidad de cambio del suelo es mayoritariamente producto de la contribución de cargas de la fase orgánica del suelo. A pesar de que el contenido de arena del suelo es elevado, el drenaje, y la aireación lo convierte en un suelo adecuado para el cultivo, permitiendo una fácil labranza, así mismo, el contenido de arcillas se asocia con un pH óptimo (Fassbender & Bornemisza, 1994); ((Montoya & Araujo, 1990b).

El suelo presenta un alto contenido de MO, superior a 11%, convirtiéndose en un factor determinante en la capacidad de intercambio catiónico, > 45 meq/100 g suelo. Este valor se encuentra directamente asociado con el contenido de nitrógeno total de la muestra, superior al 0.26%, que lo hace rico en este elemento esencial para el desarrollo de las plantas. La alta cantidad de materia orgánica en este caso, aunada a las características arenosas implican que el suelo sea un potencial centro de cultivo hortícola, debido a que la MO aporta una capacidad de cambio catiónico al medio, generando disponibilidad de oligoelementos para las plantas (Basamba, Barrios, Singh, & Rao, 2007); (Montoya & Araujo, 1990a); (Otero, Figueroa, Muñoz, & Pena, 2011).

El análisis de los elementos menores (Cu, Mn, Fe, Zn), mostró que su disponibilidad se ve disminuida por la posibilidad de ser lixiviados y por la fortaleza de los quelatos formados en el suelo con la materia orgánica, que en una zona de humedad tan alta como la caucana es marcada. Pese a que el manganeso se encuentra en concentraciones bajas, éste puede inducir una deficiencia de hierro, debido a los efectos antagónicos que se establecen entre ambos (Fassbender & Bornemisza, 1994). Lo anterior se corroboró al determinar una concentración inferior de 25 ppm para este elemento. La disponibilidad de los elementos Cu, Zn y Fe es baja, con valores inferiores al nivel mínimo requerido por las plantas, sin embargo la concentración de Cu es mucho menor en comparación con la del Zn debido a que se encuentra fuertemente retenido a la materia orgánica porque forma compuestos estables con los ácidos húmicos y fúlvicos (Barrios, y otros, 2005); (Basamba, Barrios, Singh, & Rao, 2007).

Los resultados encontrados permiten destacar algunas características relacionadas con el pH, debido a que las condiciones en que se encuentran estos suelos permiten ofrecerle una capacidad Buffer muy marcada, por lo que el desarrollo de las actividades de cultivo en los mismos presentará una gran efectividad (Rao, y otros, 2004). Esta capacidad amortiguante, es brindada por la gran cantidad de cargas negativas presentes en las arcillas y en la materia orgánica que es transformada en humus por acción de los microorganismos, confiriéndole grupos sustituyentes de anillos fenólicos oxidados a carboxilatos que se neutralizan al interactuar con los cationes presentes en la solución del suelo. Otro factor importante en el pH de las muestras es la formación de complejos organominerales entre las arcillas y la materia orgánica (coloides) mediante enlaces iónicos estables, que además de contribuir amortiguando los cambios de pH, confieren mayor facilidad en el desplazamiento de nutrientes en el suelo para aprovechamiento por las plantas por medio de fenómenos de absorción en las raíces (Barrios, y otros, 2005); (Basamba, Barrios, Singh, & Rao, 2007); ((Montoya & Araujo, 1990b)..

Al finalizar el periodo de cultivo en la zona de arrayanales y Popayán, se encontró que los niveles de carbono orgánico, materia orgánica, CIC y azufre no presentaron grandes variaciones. Cabe resaltar que durante el periodo de crecimiento del pasto se evitó la intervención humana en el mismo para no alterar los resultados de la investigación propuesta. El contenido de nitrógeno presentó disminución en las dos zonas, debido a que es un elemento esencial para el crecimiento del pasto y su buen desarrollo fisiológico. Los niveles de azufre y fósforo presentaron ligeras variaciones producto de su intercambio con los iones presentes en las arcillas, la materia orgánica, la solución del suelo y la planta durante el periodo de crecimiento (Mosquera, Bravo, & Hansen, 2007); (Zalba, 2002). De los macroelementos, el calcio presentó mayor variación en su concentración, como un indicativo de su marcada dependencia para el buen desarrollo del cultivo. El sodio, el potasio y el magnesio también muestran una considerable disminución en su concentración, y debe tenerse en cuenta para suplir la carencia de estos elementos en las condiciones determinadas. Las concentraciones de los microelementos esenciales fueron bajas y deben suplirse en este suelo, llevándolos a las condiciones óptimas para las diferentes prácticas agrícolas que se deseen desarrollar en el mismo.

La tasa de crecimiento fotosintético del pasto, expresada en Ton C/Ha y Ton CO₂/Ha, presentó un comportamiento creciente similar para los dos zonas de estudio, así, con el transcurso del tiempo la fijación del carbono atmosférico expresado en términos de dióxido de carbono fue aumentando con el transcurso del tiempo, según se indica en la tabla 2. En la misma se evidencia la mayor captación de carbono en las muestras procedentes de la ciudad de Popayán, debido a que las condiciones ambientales favorecieron mayormente al desarrollo de la planta. Con base en los resultados del análisis elemental, tabla 3, el porcentaje de carbono de cada muestra de pasto se mantuvo constante durante los 120 días de cultivo y representa en promedio entre 37-39 % del peso total seco de la planta. Este mismo comportamiento se observó en las dos zonas de estudio, tanto con el azufre como con el hidrógeno, con algunas ligeras variaciones entre los 15 y 30 días de cultivo. El contenido de nitrógeno presentó un comportamiento variable, como un indicativo de los cambios en los requerimientos nutricionales proteicos durante los diferentes estadios de desarrollo de la planta, además de la posible síntesis de compuestos orgánicos con núcleos estructurales nitrogenados con base en las adaptaciones fisiológicas de la planta a los cambios ambientales (Argel, Hidalgo, & Lobo, 2000); (Casaya Rodríguez, 2004); (Pereira, Pereira, Silva, Leão, Valadares Filho, & Garcia, 2008).

El análisis bromatológico de los forrajes, según se muestra en la tabla 4, indicó valores cercanos en cuanto a composición porcentual de contenido de humedad y materia seca. El contenido de cenizas, asociado a los minerales presentes en la muestra fue mayor en la zona 2, como un indicativo mayoritario de la presencia de macro y microelementos esenciales para la alimentación bovina. Sin embargo, considerando los resultados bajos con relación al contenido de microelementos en los suelos objeto de estudio, se puede prever que es necesario el uso de suplementos minerales para cubrir las necesidades nutricionales de rumiantes que los utilicen como fuente de alimento. Un comportamiento similar se encontró con relación al contenido de proteína, factor determinante para garantizar la calidad del pasto implementado. El contenido de fibra fue similar en ambas muestras, mientras que el nivel de grasa y carbohidratos totales fue superior en la zona 1 debido a la respuesta fisiológica de la planta en la zona de estudio, que es dependiente de las condiciones ambientales del lugar de cultivo.

En términos del valor nutricional de los pastos y su forraje, la relación entre la composición química y los requerimientos nutricionales del cultivo indican que presenta un valor nutricional medio-alto. Los forrajes que crecen en zonas frías tienen una cantidad mayor de pared celular y un contenido menor de carbohidratos de fácil fermentación en el rumen, es decir carbohidratos no fibrosos (CNF); así mismo, esa pared celular es más lignificada y menos digestible. Los forrajes con menor contenido de fibra por lo general son más digestibles y se consumen en cantidades mayores que los forrajes con cantidades elevadas de esta fracción nutricional; en el forraje analizado el contenido de fibra fué óptimo y aportará a su digestibilidad con base en lo anteriormente mencionado, debido a que el ganado lechero requiere de una cantidad mínima de fibra de composición química y características físicas apropiadas para mantener un consumo de materia seca y energía adecuados, conservar la fermentación ruminal normal, el porcentaje de grasa láctea y contribuir a la prevención de

desbalances metabólicos durante el parto (Pereira, Pereira, Silva, Leão, Valadares Filho, & Garcia, 2008); (Van Soest, 1994)..

CONCLUSIONES

Se estimó el potencial de captura de carbono retenido en la parte aérea y radicular de *Brachiaria brizantha*. Los resultados permiten evidenciar un potencial de captura total de 3,18 y 1,57 ton C/Ha en la ciudad de Popayán y en la cuenca alta del Rio las Piedras, respectivamente.

A partir del análisis elemental de la pastura estudiada se encontró que el porcentaje de carbono de cada muestra de pasto se mantuvo constante durante los 120 días de cultivo y representa en promedio entre 37-39 % del peso total seco de la planta. Este mismo comportamiento se observó en las dos zonas de estudio, tanto con el azufre como con el hidrógeno, con algunas ligeras variaciones entre los 15 y 30 días de cultivo. El contenido de nitrógeno presentó un comportamiento variable, como un indicativo de los cambios en los requerimientos fisiológicos de la planta.

Las condiciones nutricionales del suelo permiten ubicarlo en un nivel medio-alto de fertilidad, con un alto contenido de macronutrientes y un nivel bajo de micronutrientes. Se recomienda el uso de correctivos nutricionales para suplir la deficiencia de algunos de estos elementos. Los suelos tienen un buen contenido de materia orgánica, valor de CIC y pH óptimo y una textura franco arenoso, que lo hace óptimo para la implementación de otros cultivos, además de los destinados para alimentación de ganado.

El análisis bromatológico indicó que el forraje de *brachiaria brizantha* presenta un valor nutricional medio-alto en contenido de cenizas, proteína, grasa, fibra y carbohidratos totales, que lo hace apto para cubrir el requerimiento nutricional básico de bovinos en las zonas de estudio establecidas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigaciones (VRI) de la Universidad del Cauca y a COLCIENCIAS, por el apoyo financiero brindado al proyecto investigativo, en el marco del Programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores, con código ID VRI N° 3823. Se agradece al Grupo de Estudios Ambientales (GEA) y al Centro Internacional de Investigación e Innovación del Agua (CiAgua).

BIBLIOGRAFIA

- Aldana, B. O., Bravo, A. A., Montoya, L. C., Roatta, A. H., & Ruiz, I. J. (2004). Estudio de adopción del Plan de Manejo Integral de la subcuenca del río las Piedras en el componente biofísico durante el periodo 1991-2003,. Popayán.: municipio de Popayán, departamento del Cauca. .
- Amézquita, M. C., Murgueitio, E., Ibrahim, M., & Ramírez, B. (2010). Carbon sequestration in pasture and silvopastoral systems compared with native forests in ecosystems of tropical America. *Paper presented at the Grassland carbon sequestration: management, policy and economics*.
- Amezquita, M. C., Van Putten, B., Ibrahim, M., Ramirez, B. L., Giraldo, H., & Gomez, M. E. (2006). Recovery of degraded pasture areas and C-sequestration in ecosystems of tropical America. . *WSEAS Transactions on Environment and Development*,, 2(8), 1085-1090.
- Argel, P., Hidalgo, C., & Lobo, M. (2000). Pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110). Gramínea con crecimiento vigoroso con amplio rango de adaptación a condiciones de trópico húmedo y subhúmedo. *Consortio Tropileche. Boletín Técnico*. Costa Rica: MAG.
- Barrios, E., Cobo, J. G., Rao, I. M., Thomas, R. J., Amézquita, E., Jiménez, J. J., y otros. (2005). Fallow management for soil fertility recovery in tropical Andean agroecosystems in Colombia. *Agriculture, ecosystems & environment*, 110(1), 29-42.
- Basamba, T., Barrios, E., Singh, B., & Rao, I. M. (2007). Impact of planted fallows and a crop rotation on nitrogen mineralization and phosphorus and organic matter fractions on a Colombian volcanic-ash soil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 77(2), 127.
- Carlier, L., Cottyn, B., & Aerts, J. (1976). Apparent and true digestibility of the Weende components, cell content and cell wall of ryegrass. *Animal Feed Science and Technology*,, 1(4), 607-617. .
- Casaya Rodríguez, T. A. (2004). Establecimiento del protocolo de multiplicación in vitro para pasto Toledo (*Brachiaria brizantha* CIAT 26110). *fase I. Licenciatura*,. Guácimo (Costa Rica): Universidad EARTH.
- CCC. (1999). Expresiones ciudadanas e institucionales sobre el Ordenamiento Territorial del municipio de Popayán. . Cámara de Comercio Departamento del Cauca.
- Codazzi, I. G. (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. Bogotá, D.C: DANE - Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- CRC. (2000). Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Popayán. . Popayán.

- Fassbender, H. W., & Bornemisza, E. (1994). Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. San José, Costa Rica: IICA.
- Giraldo, L. A., Zapata, M., & Montoya, E. (2008). Captura y flujo de carbono en un sistema silvopastoril de la zona Andina Colombiana. *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 16(4), 215-220. .
- Hopkins, A. (2000). Grass: its production and utilization. 3 ed. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.
- Montoya, A., & Araujo, A. (1990a). Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego . 3 ed. Bogotá: SCCS.
- Montoya, A., & Araujo, A. (1990b). Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá, Colombia.
- Mosquera, C. S., Bravo, I., & Hansen, E. W. (2007). Comportamiento estructural de los ácidos húmicos obtenidos de un suelo andisol del departamento del Cauca. . *Revista Colombiana de Química*, , 36(1), 31-41. .
- Otero, J., Figueroa, A., Muñoz, F., & Peña, M. (2011). Loss of soil and nutrients by surface runoff in two agro-ecosystems within an Andean paramo area. *Ecological Engineering*, 37(12), 2035-2043. .
- Paz, L. P. (2011). Documento justificatorio para la declaración y regulación de los predios San Pedro, La Cabaña, El Motilonal, El Caimo y Loma Baja –vereda Quintana, como áreas de conservación por parte de la alcaldía municipal de Popayán, departamento del Cauca. . . Popayán: Alcaldía Municipal de Popayán.
- Pereira, D. H., Pereira, O. G., Silva, B. C., Leão, M. I., Valadares Filho, S. C., & Garcia, R. (2008). Nutrient intake and digestibility and ruminal parameters in beef cattle fed diets containing Brachiaria brizantha silage and concentrate at different ratios. *Animal Feed Science and Technology*, , 140(1), 52-66. .
- Ramírez Velásquez, A., & Ortiz Ramírez, G. (1988). Uso y manejo de los suelos de la meseta de Popayán. Palmira (Colombia): Instituto Colombiano Agropecuario.
- Rao, I. M., Barrios, E., Amezquita, E., Friesen, D. K., Thomas, R., Oberson, A., y otros. (2004). Soil phosphorus dynamics, acquisition and cycling in crop-pasture-fallow systems in low fertility tropical soils: A review from Latin America. *Paper presented at the CIAR Proceedings*.
- Rebecca, B. (2004). Soil survey laboratory methods manual Soil Survey Laboratory Investigations Report . pp. 400. Washington, DC: USDA-NRCS. GPO.
- Rodríguez, J., Corrales, L., & Pratt, L. (1998). Potencial de Carbono y Fijación de Dioxido de Carbono de la Biomasa en pie por encima del suelo en los bosques de la Republica de Belice, Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Nicaragua, Panama, Honduras. . El Salvador.

- Sánchez, J. M. (2000). Utilización Eficiente de las Pasturas Tropicales en la Alimentación del Ganado Lechero. *XI Seminario Manejo y Utilización de Pastos y Forrajes en Sistemas de Producción Animal*. San José, Costa Rica.: Centro de Investigaciones en Nutrición Animal, Universidad de Costa Rica,.
- Seppänen, P. (2002). Secuestro de carbono a través de plantaciones de eucalipto en el trópico húmedo. *Foresta veracruzana*, 4(2), 51-58. .
- UDC; COLCIENCIAS. (2012). Plan de monitoreo de variables climatológicas e hidrológicas: Cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos en la subcuenca río las Piedras – Cauca. Popayán: Universidad del Cauca-COLCIENCIAS.
- Van Soest, P. J. (1994). Nutritional ecology of the ruminant. Rotterdam: Cornell University Press.
- Wille, M., & Hooghiemstra, H. (2000). Paleoenvironmental history of the Popayán area since 27 000 yr BP at Timbio, Southern Colombia. *Review of Palaeobotany and Palynology*,, 109(1), 45-63.
- Zalba, P. (2002). Métodos alternativos para determinar las disponibilidades de fósforo en suelos agrícolas. *Ciencia del Suelo*, 20(1), 50-53.

CC.10.P. Diversidad y biomasa en selvas medianas inundables de canacoite en la Chontalpa, Tabasco, México

Candelaria Garcias-Morales¹ (candelariagarciasmorales@gmail.com), Luisa Cámara Cabrales² (lcamara27@hotmail.com) y Ofelia Castillo Acosta².

¹Investigador asociado del Centro de cambio global y la sustentabilidad en el sureste.

²Maestras investigadoras de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División académica de ciencias biológicas, cuerpo académico Ecología, sistemática y manejo de comunidades tropicales.

INTRODUCCION

En México, la transformación, degradación o destrucción de los ecosistemas naturales es el resultado del desarrollo urbano-industrial, la implementación de programas agropecuarios extensivos, de incendios y los conflictos agrarios (Carabias, Arriaga, & Cervantes, 2007). En Tabasco el problema de la deforestación se dio a causa de programas que buscaban impulsar el desarrollo agrario de Tabasco, el plan Chontalpa y el plan Balancán desde 1960 y 1970 respectivamente (Tudela, 1992), lo que produjo una disminución de las selvas en el estado de Tabasco.

El utilizar combustibles fósiles, el cambio de uso del suelo, las inadecuadas prácticas en cultivos y ganadería extensiva están relacionados con el deterioro de ecosistemas y el mal manejo de los recursos que provienen de ellos (Hyde, Amacher, & Magrath, 2001); (Durán, Duque, & Suárez, 2011). La captación de carbono y formación de biomasa en los árboles ocurre mediante la absorción del dióxido de carbono (CO₂) por medio de la fotosíntesis (López, 2005).

La biomasa en los bosques está en forma de fustes, ramas, hojas, raíces y materia orgánica en descomposición (Rodríguez, Jiménez, Aguirre, & Treviño, 2006.); (Brown, 1997), en las selvas no se tienen valores concretos debido a la variabilidad de formas, tamaños y etapas de crecimiento de los árboles y los componentes de una masa arbórea así como la densidad de la madera en la población de cada estrato y por comunidad arbórea (Barrionuevo & Pam., 2009); (Concha, Alegre, & Pocomucha, 2007); (Callo-Concha, Krishnamurthy, & Alegre, 2002); (Herrera, del Valle, & Orrego, 2001).

La biomasa en las masas arbóreas en parte está dada por el aumento de biodiversidad ocasionado por la competencia de las especies y la variedad de formas de los árboles, estos incrementan el diámetro y altura, el que la biomasa aumente progresivamente es debido a la relación que existe entre la biomasa y la diversidad en función del tiempo y las características del sitio (Martínez-Sánchez & Cámara, 2012).

MATERIALES Y METODOS

El área de estudio se localiza en la región Chontalpa que incluye a los municipios de Cárdenas, Huimanguillo, Comalcalco, Cunduacán y Paraíso al oeste del estado de Tabasco. Los sitios de selvas se localizan en el municipio de Cárdenas, el primer sitio se encuentra en ejido Vicente Guerrero o C-29 (centro de desarrollo 29) de la región Chontalpa. Con una extensión de 30 ha, se ubica entre las coordenadas 18° 3' 45" y 18° 4' 10" de latitud norte y 93° 27' 6" y 93° 27' 24" de longitud oeste. El segundo sitio de la selva se localiza en la Reserva Ecológica de la Chontalpa en las coordenadas 17° 59' 05" y 17° 59' 51" de latitud norte y 93° 34' 46" y 93° 35' 37" de longitud oeste con una extensión de 120 ha de selva.

Una vez elegido los diferentes sitios de selva se efectuaron los muestreos utilizando el método propuesto por Rendón y Soto (2007) donde se trazaron dos rectángulos que forman entre ellos una "T" (250 m²). En cada rectángulo se registró y censo todo los árboles maduros, se midió el DN de todos los árboles mayores a 9.5 cm con cinta diamétrica, se midió la altura de los individuos. Se colectaron muestras botánicas de los ejemplares para su identificación.

Se realizaron los cálculos para la estructura, composición y biomasa de las selvas mediana. Se identificaron los ejemplares colectados en campo con la ayuda de claves, foto tipos de herbarios virtuales (Missouri Botanical Garden, Herbario Searle del Field Museum) y ejemplares del herbario de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco y se depositaron en el las muestras.

La estimación de biomasa en el componente arbóreo (árboles maduros y Juveniles) se utilizó conforme a las mediciones de altura y DN realizadas anteriormente en campo. La biomasa se calculó mediante la fórmula de clima tropical lluvioso propuesta por Chave *et al.* (2005) con una amplitud diamétrica de 5-156 cm.

Se calculó el carbono de las plantas herbáceas de los sitios, por medio del factor de cobertura de plánulas mediante las formulas propuestas por Rendón y Soto (2007). La ecuación para determinar la biomasa de hojarasca (Hp) fue mediante peso en gramos perteneciente al promedio de profundidad de materia orgánica que se tomó en 12 cuadros en campo, el resultado se multiplico por 40 que es un valor para extrapolar el peso de kg a toneladas.

En teoría mientras exista más árboles maduros y juveniles se hallará mayor cantidad de raíces. La fórmula para calcular la cantidad de biomasa de raíces gruesas y finas fue la propuesta por Cairns *et al.* (1997).

RESULTADOS

Diversidad

La riqueza florística presente en la selva del C-29 es de 58 especies arbóreas distribuidas en 51 géneros y 28 familias botánicas. Las familias representativas son Rubiaceae, Moraceae y Fabaceae con 5, 6 y 6 especies respectivamente, tres especies se encuentran en diferentes estados de protección (NOM-ECOL-059, 2010) *Bravaisia integerrima* (Spreng.) Standl, *Calophyllum brasiliense* Cambess y *Bactris balanoidea* (Oerst.) H. Wendl.

La riqueza florística en la reserva del CP se distribuyó en 90 especies, 80 géneros y 37 familias de estas las más representativas son Fabaceae con 15 especies, Rubiaceae 8 especies y Arecaceae, Malvaceae y Moraceae con 7 especies cada una respectivamente, albergando seis especies en diferentes estados de protección según la NOM-ECOL-059 (2010) son: *Ormosia macrocalyx* Ducke, *Cedrela odorata* L., *B. balanoidea*, *C. brasiliense*, *B. integerrima* y *Astronium graveolens* Jacq. Existen especies cultivadas no nativas como *Cocos nucifera* L., *Tamarindus indica* L., *Anacardium occidentale* L. y *Manguifera indica* L.

La diferencia de diversidad presente en las selvas fue de 0.6 (tabla 1), tomando al índice de Shannon se realizó la prueba de t (tabla 1) en la cual estadísticamente existen diferencias entre la diversidad de las selvas del C-29 y CP. El índice de similitud de Sørensen fue de 0.78 el cual indica que existe similitud en especies que comparten las selvas, aun cuando estadísticamente existe diferencias en diversidad no repercute en la semejanza florística, la uniformidad presente en las selvas fue de 0.73 en CP y 0.66 para C-29 indicando una distribución y repartición de los recursos en las especies.

Estructura

Se determinaron tres estratos (clases altimétricas) en la selva del C-29 con base al rango de las alturas de los individuos y una amplitud de 10 m entre cada clase, en la selva del CP se determinaron de la misma manera tres estratos con base al rango de altura de los individuos y una amplitud de 12 m entre cada clase.

El primer estrato (I) de ≤ 12 m (figura 1), en la selva del C-29 se encuentran las palmas pequeñas como *B. balanoidea*, *Bactris mexicana* Mart, *Chamaedorea tepejilote* Liebm, arbustos y árboles juveniles como *Guatteria amplifolia* Triana & Planch, *Rourea glabra* Kunth, *Faramea occidentalis* (L.) A. Rich, *Thevetia ahouai* (L.) A. DC, *Dendropanax arboreus* (L.) Dence & Planch, *Salacia elliptica* (Mart. ex Schult) G. Don, *Hasseltia mexicana* (A. Gray) Standl, *Hampea nutricia* Fryxell, *Trophis racemosa* (L.) Urb, *Bravaisia integerrima*, y *Rheedia intermedia* Pittier.

La selva del CP en este primer estrato ≤ 13.5 m *B. balanoidea*, *C. tepejilote*, *G. amplifolia*, *R. glabra*, *S. elliptica*, *H. mexicana*, *Sapranthus sp*, *T. racemosa*, *Bravaisia integerrima*, *R. intermedia*, *Chrysalidocarpus lutescens* H. Wendl, *Averrhoa carambola* L, *Hamelia patens* Jacq y *Randia xalapensis* M. Martens & Galeotti.

El segundo estrato (II) de 12.1 a 22.1 m en la selva del C-29 y en la selva del CP 11.6 a 21.6 m, las especies más comunes dentro de este estrato son: *B. integerrima*, *Tabebuia rosea* (Bertol.) A. DC, *Guazuma ulmifolia* Lam, *Tabernaemontana alba* Mill, *Diospyros digyna* Jacq, *Licania platypus* (Hemsl.) Fritsch, *Calophyllum brasiliense* Cambess, *Ficus obtusifolia* Kunth, *Pithecellobium lanceolatum* (Humb & Bonpl ex Will) Benth y *Stemmadenia donnell-smithii* (Rose) Woodson.

El tercer y último estrato de (III) 22.2-32 m en la selva del C-29 las especies más comunes son: *B. integerrima*, *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn, *C. brasiliense*, *Bursera simaruba* (L.) Sarg, *Pachira aquatica* Aubl, *Spondias mombin* L, *L. platypus*, *Ficus glabra* Vell y *D. digyna*. La selva del CP este estrato es de 25.6-37 m, la especies más representativas en este estrato fueron: *B. integerrima*, *Dialium guianense* (Aubl.) Sandwith, *F. glabra*, *Bursera simaruba*, *Enterolobium cyclocarpum*, *D. digyna*, *O. macrocalyx* y *Quararibea sp*.

La distribución de clases diamétricas (figura 2) de la selva C-29 tienden a concentrarse en el primer intervalo de 2.5-14.5 cm de diámetro siendo la clase de mayor número de individuos (819) con 74% del total, presenta saltos de clases mayores a 87 cm y la presencia de un solo individuo con 200 cm de diámetro, en los últimos dos intervalos de clases observa la presencia de un individuo.

La selva del CP presenta 2,591 individuos en el primer intervalo de clases que representa el 60.7% del total de individuos, no existen saltos de clases, se halló un solo individuo de 171 cm de DN, teniendo que en los cuatro últimos intervalos de clases presenta de uno a dos individuos.

En las selva del C-29 la especie de mayor IVI fue *B. integerrima* (tabla 2) debido a su alto porcentaje en dominancia relativa, la especie *B. balanoidea* presenta mayor número de individuos y presenta mayor porcentaje en frecuencia relativa y densidad relativa siendo la segunda de mayor importancia en la selva del C-29 por lo cual se denomina una selva de *B. integerrima* y *B. balanoidea*, en esta misma selva *S. elliptica* es la especie de menor valor de importancia por ser la especie de menor porcentaje en las variables de frecuencia, densidad y la segunda con menos dominancia relativa, siendo también una de las especies de menor número de individuos.

La especie de mayor valor de importancia en la selva del CP fue *B. integerrima* por su alto porcentaje en las variables de dominancia y frecuencia relativa, esta última debido a que es la especie de mayor presencia de individuos, la especie de mayor densidad fue *F. occidentalis* siendo esta especie la segunda de mayor importancia y se denomina una selva de *B. integerrima* y *F. occidentalis*, la especie de menor densidad relativa fue *T. alba*, la especie menos frecuente y de menor individuos fue *F. glabra* y la especie que de menor dominancia relativa fue *B. balanoidea*.

Biomasa

Las especies contribuyen de forma desigual al almacenamiento de carbono en la selva del C-29 y del CP. Del total de carbono almacenado en árboles maduros y juveniles, en la selva del C-29 se tiene que *B. integerrima*, *F. glabra*, *L. platypus*, *D. digyna*, *C. pentandra*, *S. mombin* y *P. aquatica* suman un 79.3% del carbono almacenado en el fuste de árboles maduros y juveniles, el 20.7% pertenece al carbono en árboles de las especies restantes (figura 3-a).

La selva CP (figura 3-b) *B. integerrima*, *F. glabra*, *S. mombin*, *G. ulmifolia*, *C. brasiliense*, *D. digyna*, y *P. aquatica* suman el 65.9% del carbono almacenado en el fuste de árboles y el 34.1% pertenece al carbono en árboles de las especies restantes, siendo 13.4% la diferencia en el almacenamiento en siete especies del C-29 con respecto al CP, en ambas selvas la especie de mayor porcentaje de carbono fue *B. integerrima* con 38.7% en la selva del C-29 y 22.1% en la selva del CP.

La selva del C-29 es el sitio de mayor biomasa total y en los componentes de árboles maduros, juveniles y raíces. La selva del CP el segundo sitio con mayor biomasa en árboles maduros, juveniles y raíces; la plantación IAN 873 es el tercer sitio de mayor biomasa en árboles maduros y raíces; la plantación IAN710 es el sitio de menor biomasa en árboles maduros y en raíces, siendo también el sitio con menor desviación en sus datos con respecto a los otros tres sitios.

DISCUSION

Diversidad

La riqueza es un parámetro que se utiliza para conocer la importancia de un sitio en cuanto al mayor número de especie que posee (Franco, y otros, 2001); (Rocha, Chávez, Ramírez, & Cházaro, 2010), en la selva del CP, Sol *et al.* (1999) reportó 124 especies cifra mayor a lo encontrado en el presente estudio que fue de 90. La selva del C-29 es la selva que presenta menor número de especies en sus familias más representativas con respecto a la selva del CP, siendo esta última selva la de mayor número de especies en las familia Fabaceae, Rubiaceae y Moraceae coincidiendo a otras selvas de canacoite como lo reporta Maldonado-Sánchez y Maldonado-Mares (2010) y Sol *et al.* (1999), estas familias por su distribución y abundancia en las regiones tropicales del mundo son de amplio rango de resistencia y adaptación (Pérez & Sarukhán, 1970.); (Pennington & Sarukhán, 2005).

En observaciones de campo en la selva del C-29 y el CP los árboles de canacoite se asemejan en apariencia a los mangles, puesto que se puede observar las raíces zancudas de los árboles de canacoite por encima del suelo dando un panorama parecido y al mismo tiempo diferente de un manglar por el simple hecho de encontrarse inundada con agua dulce en temporada de lluvias y seco el resto del año. Se observa una alta proliferación de plántulas y presencia de árboles, dando una fusión en apariencia entre selva y manglar siendo la presencia de canacoite el árbol que le da esa apariencia y diferencia.

Comparando la diversidad de Shannon en las selvas de canacoite con otros tipos de selvas húmedas y subhúmedas como las reportadas por Martínez-Sánchez y Cámara (2012) que van de 3.9 hasta 5.31, son superiores al presente estudio, esto se debe a que estas selvas son selvas altas, West *et al.* (1985) menciona que las selvas altas alberga mayor diversidad.

Maldonado-Mares (2010) en la reserva Yu-balkah de Tacotalpa Tabasco con 3.35, siendo esta selva la de mayor diversidad reportada de canacoite. De acuerdo a la clasificación de Miranda y Hernández (1963), López-Mendoza (1980) y Pennintong y Sarukhán (2005), las selvas del C-29 y el CP corresponden a selva mediana perennifolia. Las alturas y la presencia de *B. integerrima* como la especie dominante del presente estudio coinciden por lo reportado por Puig (1972), Salas *et al.* (2007), Maldonado-Sánchez y Maldonado-Mares (2010), Pérez y Sarukhán (1970) y Sol *et al.* (1999).

Pérez y Sarukhán (1970), López-Mendoza (1980), Sol *et al.* (1999), López (2001), Pennintong y Sarukhán (2005), Salas *et al.* (2007) y Maldonado-Sánchez y Maldonado-Mares (2010), coinciden que la selva de canacoite (*B. integerrima*) es un tipo de vegetación restringida y se presenta en suelos con deficiencia en drenaje lo que propicia que en la temporada de lluvias las selvas de canacoite tienen un período de inundación desde 15 días extendiéndose hasta 6 meses como reporta Guerra y Pietrangeli (2007) en el cual la selva perennifolia de la zona ribereña al río Socuy en Venezuela se inunda de 3-6 meses.

Estructura

La estructura horizontal en la selva C-29 y CP es del tipo I siguiendo la clasificación de Bongers *et al.* (1988) este tipo de distribución es reportado en diferentes selvas de canacoite como “Yu-Balcah” por Maldonado-Sánchez y Maldonado-Mares (2010), Pérez y Sarukhán (1970) en Pichucalco, las selvas con este tipo de distribución de DN son consideradas selvas dinámicas (Orozco & Brumér, 2002).

Siguiendo la clasificación, se tiene que en las clases diamétricas y altimétricas el número de individuos disminuye a medida que las clases diamétricas y altimétricas aumentan, por lo que la distribución de las selvas C-29 y CP asemejando la forma de una “j” invertida, que garantiza la regeneración natural que repondrá los árboles

maduros mediante una alta presencia de individuos en la primer clase diamétrica y disminuye la presencia de individuos en las clases de mayor diámetro.

En la selva del CP existe actualmente una asociación de *B. integerrima* con *F. occidentalis*, Sol *et al.* (1999) reporta a *B. integerrima* con *B. baculifera* Maldonado-Sánchez y Maldonado-Mares (2010) reportan a *B. integerrima* como la tercer especie de mayor importancia. Aunque en las selvas del C-29 y del CP tienen a *B. integerrima* como la especie de mayor importancia la variable de densidad relativa es más baja en la selva del C-29 debido que en las observaciones en campo esta especie se encuentra más dispersa en comparación a la selva del CP donde esta especie se encuentra en grupos más concentrados.

Biomasa

La presencia de estudios que toman en cuenta el tamaño de la parcela, mencionan que esta es un paso decisivo en cuantificación de biomasa, ya que cualquier tamaño de muestra total <0.5 ha es propenso a presentar errores en la cuantificación (Sarmiento, Pinillos, & Garay, 2005); (Rendón & Soto, 2007) lo que indica que el muestreo de las selvas y plantaciones, en la cuantificación del carbono en el presente estudio es aceptable.

Desde un punto de vista ecológico la estructura de la selva nos puede dar una idea de la capacidad y cantidad de carbono almacenado tanto en la parte aérea como subterránea (Sarmiento, Pinillos, & Garay, 2005), siendo que existe una relación positiva entre la riqueza, biomasa y carbono almacenado en selvas (Martínez-Sánchez & Cámara, 2012), Terradas (2001) describe que al aumentar la riqueza aumenta la biomasa hasta llegar a un máximo.

La biomasa presente en las selvas C-29 y CP es mayor a lo reportado por Herrera *et al.* (2001) de vegetación primaria en Colombia presentando una biomasa de 248.2 ton ha⁻¹, De Walt y Chave (2004) en Panamá con 214 ton ha⁻¹, estando en el rango de biomasa en vegetación tropical de 246.6-324 ton ha⁻¹ propuesta por Watson (2000). En las selvas las especies de mayor biomasa y por lo tanto mayor carbono, son aquellas que canalizan de manera eficaz los recursos en su desarrollo (Terradas, 2001), siendo los nutrientes quienes impulsan las diferenciaciones interespecíficas de las especies debido a las necesidades de los recursos (Martínez-Sánchez & Cámara, 2012); (Tilman & Lehman, 1997).

Las selvas almacenan más carbono que cualquier otro tipo de vegetación, en teoría es debido a la alta productividad primaria neta y a la variabilidad de formas de las diferentes especies y su abundancia ocasionadas por el ambiente que contribuye a la heterogeneidad de formas de plantas que conforman múltiples micro hábitats (Martínez-Sánchez & Cámara, 2012); (Tilman & Lehman, 1997); (Guo & Berry, 1998).

CONCLUSION

Las selvas de canacoite (*Bravaisia integerrima*) del C-29 y CP presentan diferencias estructurales y de diversidad, sin embargo las especies presentes son similares en las selvas. Se evidencia que la mayor cantidad de carbono en el fuste de árboles maduros y juveniles está depositado en *B. integerrima*, *Spondias mombin* y *Ficus glabra*; estas especies se encuentran también dentro de las diez de mayor importancia en las selvas del C-29 y del CP debido a un mejor aprovechamiento de los recursos. Hubo diferencias estadísticas en el carbono almacenado entre las selvas debido a la heterogeneidad que presenta cada una.

BIBLIOGRAFIA

- Barrionuevo, S., & Pam., E. (2009). Evaluación del CO₂ almacenado en la vegetación del bosque nativo de Santiago del estero (Argentina): bases para la conservación de bosques en regeneración. . *Foresta veracruzana*, 11(2):1-10.
- Bongers, F., Popma, J., Meave del Castillo, J., & Carabias, J. (1988). Structure and floristic composition of the lowland rain forest of los Tuxtlas, México. *Vegetation*, 74:55-80.
- Brown, S. (1997). Estimating biomass and biomass change of tropical forest. . En *Paper-134*. (pág. 89). Roma, Italia: FAO forestry.
- Cairns, M., Brown, S., Helmer, E. H., & Baumgardner, E. H. (1997). Root biomass allocation in the world's upland forest. *Oecologia*, 111:1-11.
- Callo-Concha, C. D., Krishnamurthy, L., & Alegre, J. (2002). Secuestro de carbono por sistemas agroforestales Amazónicos. *Revista Chapingo*, 8(2):101-106.
- Carabias, J., Arriaga, V., & Cervantes, V. (2007). Las políticas de la restauración ambiental en México: limitantes, avances, rezagos y retos. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, 80: 85-100.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M., Chambers, J., Eamus, D., y otros. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145: 87–99.
- Concha, J., Alegre, J., & Pocomucha, V. (2007). Determinación de las reservas de carbono en la biomasa aérea de sistemas agroforestales de *Theobroma cacao* L. en el departamento de San Martín, Perú. *Ecología aplicada*, 6(2): 75-82.
- De Walt, S., & Chave, J. (2004). Structure and Biomass of Four Lowland Neotropical Forests. *Biotropica*, 36(1): 7-19.

- Durán, B. E., Duque, L., & Suárez, J. C. (2011). Estimación de carbono en sistemas agroforestales de *Hevea brasiliensis* en la Amazonia Colombiana. . *Ingenierías & Amazonia.*, 4(1): 19-28.
- Franco, L., Cruz, A. G., Cruz, G., Rocha, R., Navarrete, S., Flores, M., y otros. (2001). Manual de ecología. Sexta reimpresión. En *Trillas* (pág. 266).
- Guerra, M., & Pietrangeli, M. (2007). Caracterización florística de las comunidades forestales ribereñas presentes en un sector de la cuenca media del Río Socuy, estado Zulia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron.* , 1: 427-434.
- Guo, Q., & Berry, W. L. (1998). Species richness and biomass: Dissection of the hump-shaped relationships. *Ecology*, 79: 2555-2559.
- Herrera, A. M., del Valle, J. I., & Orrego, S. A. (18-20 de 10 de 2001). Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques tropicales primarios y secundarios de Colombia. *Simposio Internacional Monitoreo de la Captura de Carbono en ecosistemas Forestales*, 18 . Valdivia, Chile.
- Hyde, F. W., Amacher, S. G., & Magrath, W. (2001). Deforestación y aprovechamiento forestal. *Gaceta ecológica*, págs. 59:1-36.
- López-Mendoza, R. (1980). Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas. En *Serie agronómica 1* (Primera edición en español. ed., pág. 121). México D.F.: Universidad Autónoma de Chapingo.
- Maldonado-Sánchez, E. A., & Maldonado-Mares, F. (2010). Estructura y diversidad arbórea de una selva alta perennifolia en Tacotalpa, . Tabasco, México.: Universidad y Ciencia.
- Martínez-Sánchez, J., & Cámara, L. (2012). Is there a relationship between floristic diversity and carbón stocks in tropical vegetation in Mexico?. *African Journal of Agricultural Research.*, 7(17):2584-2591.
- Miranda, F., & Hernández, E. X. (1963.). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. . *Boletín de la Sociedad Botánica de México.* , 28:29-79.
- Orozco, L., & Brumér, C. (2002). Inventarios Forestales para Bosques Latifoliados en América Central. 264. Turrialba, Costa Rica.: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Pennington, T. D., & Sarukhán, J. (2005). Árboles tropicales de México. En *Manual para la identificación de las principales especies.* (pág. 525). México, D.F: Fondo de cultura económica.
- Pérez, J. L., & Sarukhán, J. (1970.). La vegetación de la región de Pichucalco, Chiapas. *Publicación especial, Inst. Nal. Inv. For. México*, 5: 49-123.

- Puig, H. (1972). La sabana de Huimanguillo, Tabasco, México. . *Memorias del I congreso Latinoamericano V Mexicano de Botánica*. . México, D.F.: Colegio Superior de Agricultura Tropical, Cárdenas, Tabasco. .
- R.T, W., Noble, I., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J., & Dokken, D. J. (2000). Land Use, Land-Use Change and Forestry . Cambridge University Press.
- Rendón, C. N., & Soto, L. (2007). Metodología rápida para la estimación y monitoreo de captura de carbono. ECOSUR.
- Rocha, R. A., Chávez, R., Ramírez, A., & Cházaro, S. (2010). Comunidades. En *Métodos de estudio. 4ta reimpresión*. (pág. 248). México D.F: UNAM y la Facultad de estudios superiores Iztacala.
- Rodríguez, R., Jiménez, J., Aguirre, O. A., & Treviño, E. J. (2006.). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, . México. : Ciencia UANL. .
- Salas, M. S., Schibli, L., Nava-Safra, A., & Saynes-Vasquez, A. (2007). Flora de la costa de Oaxaca, México. . *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. , 81: 101-130.
- Sarmiento, G., Pinillos, M., & Garay, I. (2005). Biomass variability in tropical American lowland rainforests.. . *Ecotropicos*, 18(1):1-20.
- Sol, S. A., Pérez, V. A., Vázquez, T. M., Ruiz, R. O., & Castillo, O. (1999). Diversidad y composición florística de la selva de canacoite en la Chontalpa, . Tabasco, México. : Universidad y Ciencia. .
- Terradas, J. (2001). Ecología de la vegetación. En *De la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes* (pág. 703). Editorial Omega.
- Tilman, D., & Lehman, C. T. (1997). Plant diversity and ecosystem productivity: theoretical considerations. *Proc. Nat. Ac. Sci*, 94: 1857-1861.
- Tudela, F. (1992). La modernización forzada del trópico: el caso de Tabasco. En *Proyecto Integrado del Golfo* (pág. 475). México, D.F.: IFIAS.

CC.11.P. Clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense

Climate Classification for the Costa Rican's Caribbean side

Paula M. Pérez Briceño¹, (paula.perez@ucr.ac.cr, +506 2511-5096)
Jorge A. Amador Astúa^{1 2} (Jorge.amador@ucr.ac.cr, +506 2511-5096)
Eric J. Alfaro Martínez^{1 2} (erick.alfaro@ucr.ac.cr, +506 2511-5096)

¹*Centro de Investigaciones Geofísicas; Universidad de Costa Rica, Costa Rica.*

²*Escuela de Física; Universidad de Costa Rica, Costa Rica.*

INTRODUCCION

La variabilidad térmica y pluviométrica es una característica del territorio costarricense, por ello la diferencia climática entre las dos vertientes, la Pacífica y la Caribe, donde la primera por estar a sotavento posee un régimen de menor humedad en el aire mientras que la ladera de barlovento, recibe los vientos alisios cargados de humedad que determinan el clima de la vertiente Caribe donde llueve prácticamente todo el año.

Se analizan variables meteorológicas integrándolas al relieve en busca de patrones climáticos y asociar las estaciones a un grupo climático la vertiente Caribe. Se utilizaron estaciones meteorológicas con registros mayores a los diez años.

Este trabajo forma parte del proyecto “Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera”, elaborado por el Centro de Investigaciones Geofísicas a solicitud de la Corporación Bananera Nacional (CORBANA); y con él se pretendió analizar variables climáticas de estaciones meteorológicas con registros superiores a diez años en la Vertiente Caribe para elaborar una clasificación climática basada en el balance hídrico que es la base para el sistema de Thornthwaite (Mather, 1974).

METODOS Y MATERIALES

Se presenta la clasificación climática para la vertiente Caribe costarricense con dos modificaciones importantes con respecto a Amador *et al.* (2012): 1) Incremento en la cantidad de estaciones meteorológicas con el fin de ampliar la cobertura geográfica del estudio y 2) Sustitución del método utilizado para el cálculo de la evapotranspiración

potencial (ETP). En Amador *et al.* (2012), la ETP se estimó según el método de Thornthwaite, que utiliza solamente como parámetro de entrada la temperatura media mensual. En este trabajo se calcula por el método de Hargreaves, que calcula la ETP utilizando datos de temperatura media mensual, la diferencia entre temperatura mínima mensual y temperatura máxima mensual así como la radiación incidente en el límite superior de la atmósfera (Herrera, 1985). En general, los métodos para determinar esta variable presentan diferentes tipos de sesgos, algunos de ellos vinculados al número de parámetros usados para su cálculo (Lu, Sun, Amatya, & McNulty, 2005); (Bautista, Bautista, & Delgado-Carranza, 2009). Con el fin de mostrar las diferencias entre las ecuaciones para el cálculo de la ETP, la clasificación climática para la vertiente Caribe se elabora utilizando ambos métodos mencionados. Se recomienda utilizar la clasificación climática estimada a partir de la ecuación de Hargreaves, ya que considera más variables meteorológicas.

Se realizó una recopilación de datos de precipitación media mensual de estaciones meteorológicas de la red del Instituto Nacional de Meteorología (IMN), Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), las estaciones BANACLIMA de CORBANA y las estaciones de la empresa Del Monte que estuvieran dentro del área de estudio y en zonas aledañas. Esta base de datos cuenta con 123 estaciones con registros de precipitación para diferentes periodos, por lo que fue necesario definir criterios de selección para validar y sistematizar la clasificación. Los parámetros establecidos fueron:

1. Estación meteorológica con registro de datos de precipitación media mensual mayor a un periodo de 10 años, con excepción de las estaciones de BANACLIMA que cuentan con registro de siete años y que son incluidas en este estudio.
2. Que la estación meteorológica cuente con un registro casi-continuo de datos, no se consideran las estaciones que tengan periodos mayores a un año sin datos.
3. La estación debe tener registro dentro de los últimos 50 años aproximadamente, es decir desde 1960 al 2011 (se dispone de datos hasta esta fecha).

Una vez realizada la selección de estaciones, se determinó que 82 estaciones cumplen con los requisitos (Amador, 2013). A partir de esta base se procedió a una revisión de la disponibilidad de datos de temperatura y no todas las estaciones cuentan con esta información. El 50% cuenta con los datos de temperatura media, mínima y máxima mensual. Es decir, 41 estaciones tienen estos valores y las otras 41 tienen el valor asociado de la estación más cercana (línea recta), tomando en cuenta la altitud de la estación. Cabe recalcar que la zona de estudio, posee poca variabilidad térmica por lo que es válido realizar la asociación de datos.

Retomando la metodología descrita en Amador *et al.* (2012), se mapean las variables de precipitación media anual, temperatura media, mínima y máxima anual. Se calculan los índices de aridez, de humedad e hídrico para determinar los grupos climáticos.

Para elaborar una clasificación climática según la metodología de Thornthwaite se requieren cuatro factores (Mather, 1974):

1. Índice hídrico: es expresado como la diferencia entre el índice de humedad y el índice de aridez. Las provincias de humedad son las que dan nombre a los grupos climáticos, es decir a partir de estas, se organizan dichos grupos (Tabla 1).
2. Variación estacional de la humedad: se refiere a la distribución de la precipitación a lo largo del año, y se indica con *f*, *s*, y *w* en letras minúsculas; que se refiere a buena distribución de la precipitación a lo largo del año; presenta un verano seco o una estación lluviosa respectivamente.
3. Índice térmico: la metodología de Thornthwaite supone la evapotranspiración potencial como índice térmico. Hay nueve clasificaciones que se distinguen con una letra mayúscula; por ejemplo: megatermal (A'), mesotermal (B'), microtermal (C'), tundra (D') e hielo (E').
4. Índice de variación térmica: este índice indica la cantidad de energía que recibe durante la época seca; varía entre 25 y 100 para cualquier clima.

RESULTADOS

La figura 1 muestra la distribución espacial de la precipitación media anual, tomando en consideración que es altamente variable espacialmente. Por ejemplo, hacia el sureste del área de estudio en los alrededores de Bribri y Bocas del Toro (Panamá) la cantidad de lluvia es menor con valores de 3000 mm mientras que hacia el noroeste cerca a las localidades de Puerto Viejo (Sarapiquí), Guápiles y Tortuguero con valores de 5000 mm anuales. La estación con el máximo de lluvia media anual es Jilguero con 5500 mm, mientras que la estación con el mínimo de la precipitación es Comando Los Chiles con 1700 mm de lluvia anual, (estación ubicada lejos de la influencia marítima).

Denominación	Índice hídrico (%)	Simbología
Excesivamente húmedo (pluvial)	600 - 300	H
Muy húmedo	300 - 100	G
Húmedo	100 - 80	F
Húmedo	80 - 60	E
Húmedo	60 - 40	D
Húmedo	40 - 20	C
Subhúmedo húmedo	20 - 0	B
Subhúmedo seco	-33,3 - 0	A

Tabla 14 Provincias de humedad. Fuente: Herrera (1985) y Mather (1974).

En cuanto a la temperatura media anual (ver figura 2) se observa poca variabilidad térmica a lo largo de la zona litoral, con valores altos de temperatura media entre los 25 °C y 26 °C. Conforme aumenta la altitud, la temperatura disminuye paulatinamente, lo que ocasiona que las isotermas sean paralelas hasta llegar a la divisoria de aguas, donde se encuentra la estación Volcán Irazú con un mínimo de temperatura media de 8,1°C. Haciendo énfasis en la zona de interés, la amplitud térmica varía muy poco a lo largo de año y es más notoria en el transcurso del día. Hacia las estaciones Caribe S.A. y Tortuguero Norte se aprecia una pequeña disminución de la temperatura media anual. En cuanto a la distribución espacial de la temperatura mínima anual, se observó que en la llanura se mantiene aproximadamente constante con valores mínimos de 20°C, disminuyendo hacia las zonas montañosas, el mínimo es en el Volcán Irazú con 4°C a 2027 m.s.n.m. La distribución geográfica de la temperatura máxima en las partes bajas es continua con poca variabilidad, con un promedio de 30°C, y el mínimo de la temperatura máxima es en el Volcán Irazú con 11,5°C.

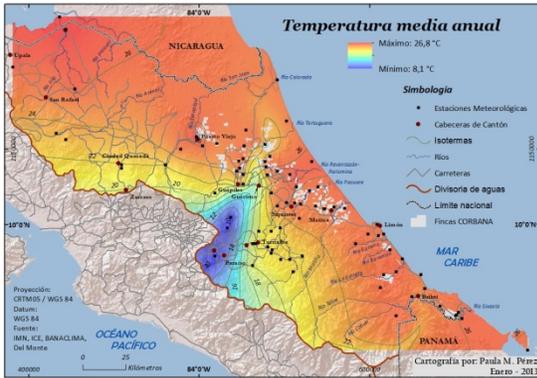


Figura 23 Distribución espacial precipitación media anual (elaboración propia).

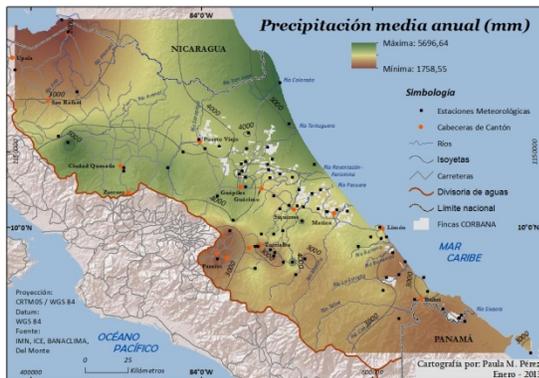


Figura 24 Distribución espacial de la temperatura media anual (elaboración propia).

Para el cálculo de la evapotranspiración potencial, que es la medida de la transferencia máxima de agua posible a la atmósfera bajo condiciones ideales de textura del suelo y vegetación (Thornthwaite, 1948), se utilizaron dos ecuaciones, de este autor (ecuación [4]); y la de Hargreaves (1981), ecuación [6]. La ecuación [4] es recomendable para las tierras llanas y húmedas, pero no para las tierras montañosas interiores y el Pacífico seco. La ecuación [6] genera resultados bastante aceptables, ya que se adapta a las regiones climáticas costarricenses y a la infraestructura meteorológica de datos existente (Herrera, 1985). Primero se abarca la fórmula empírica de Thornthwaite en donde la temperatura media mensual es el principal controlador de la evapotranspiración, ya que existe una relación entre este elemento del clima y la evapotranspiración, en los meses de 30 días y con 12 horas de radiación solar (Thornthwaite, 1948). Esta relación se expresa como:

$$e = cT^a \quad [1]$$

donde e es la evapotranspiración potencial mensual en centímetros, T es la temperatura mensual en °C, y los coeficientes c y a varían de un lugar a otro, aunque pueden ser calibrados para un determinado lugar si se posee la información del caso.

A partir del dato de temperatura media mensual se calcula el índice térmico mensual que varía de 0 a 160, con la ecuación [2].

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,514} \quad [2]$$

La sumatoria de los 12 meses de i , es el índice de variación térmica anual (I). La relación entre I y a está dada por la ecuación [4.3], donde este exponente varía de 0 a 4,25.

$$a = 0,6751 \times 10^{-6} I^3 - 0,771 \times 10^{-4} I^2 + 0,01792 I + 0,49239 \quad [3]$$

Por tanto, la evapotranspiración potencial está dada por la ecuación [4], según Thornthwaite (1948):

$$e = 1,6 \left(10 \frac{T}{I}\right)^a \quad [4]$$

donde a está dado por la ecuación [3].

Luego, se aplica un valor de corrección según la latitud y el mes a considerar, ecuación [5],

$$e_c = fxe \quad [5]$$

donde:

e_c = Evapotranspiración mensual corregida, en mm

f = Factor de corrección (Amador *et al.*, 2012)

e = Evaporación mensual sin corregir, en mm

En el caso de Hargreaves, la ecuación toma en cuenta más variables como la diferencia entre la temperatura mínima anual y temperatura máxima anual. La ecuación [4.6] determina la ETP:

$$ETP = [(0,17 \times RA \times \sqrt{TD})(0,0075)] \times (32 + 1,8 T) N \quad [6]$$

donde,

- ETP = Evapotranspiración potencial media mensual (mm)
- RA = Radiación extraterrestre en el tope de la atmósfera, en milímetros diarios de agua evaporada (Tabla 2)
- T = Temperatura media mensual, °C
- TD = Diferencia entre la temperatura máxima y mínima media mensual (en grados centígrados)
- N = Número de días del mes

Lat	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Agost	Sept	Oct	Nov	Dic
10°	13,2	14,2	15,3	15,7	15,5	15,3	15,3	15,5	15,3	14,7	13,6	12,9

Tabla 15 Radiación extraterrestre, expresada en evaporación equivalente en milímetros por día, Hemisferio Norte. Fuente: Estudio FAO; Riego y Drenaje. Las necesidades de agua de los cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y alimentación, ROMA 1976, pág. 24 en Herrera (1985). [Lat: latitud; Ene, Feb, etc.: abreviatura de los meses del año]

Una vez realizado el cálculo de la ETP por ambos métodos, se establece que el 88% de los casos la ETP por la ecuación de Hargreaves es mayor que la ecuación de Thornthwaite, lo que indica que aumenta la necesidad de agua evaporada en estas estaciones. En cuanto al 12% y como ejemplo para algunas estaciones seleccionadas, la figura 3 muestra que aunque Thornthwaite es mayor, la diferencia entre uno y otro método no es significativa.

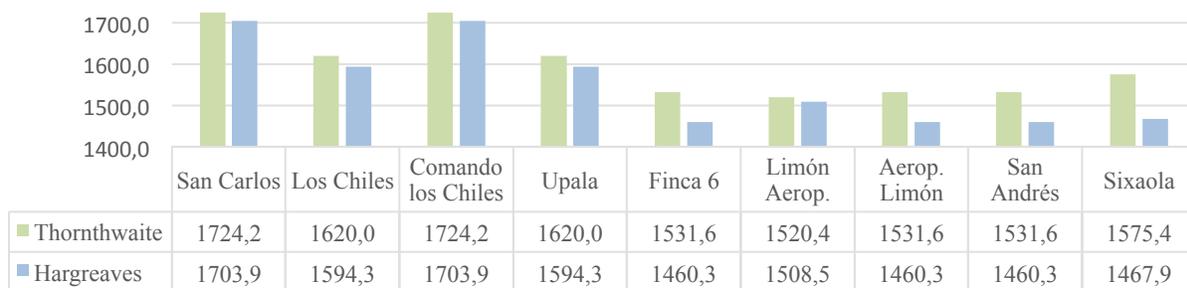


Figura 25 Comparación de las ecuaciones de Thornthwaite y de Hargreaves para el cálculo de la evapotranspiración potencial (elaboración propia).

Para identificar la diferencia de forma gráfica entre las ecuaciones [4] y [6], se hace alusión a las figuras 4 y 5, que en contraste con las figuras anteriores, están clasificadas por rangos para notar las diferencias entre las ecuaciones. La ecuación de Thornthwaite (ver figura 4a), propone una distribución regular a lo largo del litoral con valores mínimos de alrededor de 570 mm hasta 1800 mm, alrededor del lago de Nicaragua, mientras que en la zona Caribe, propiamente, los valores oscilan entre 1200 y 1400 mm de ETP.

La ecuación de Hargreaves (ver figura 4b) presenta valores entre 820 mm y 2200 mm aumentando la cantidad de agua evaporada potencial en la región, esto responde a las altas temperaturas y a la poca amplitud térmica en la región húmeda caribeña, que muestra núcleos en la parte sureste de la zona de estudio, es decir en el Caribe sur. Hacia el norte la región se observan los valores máximos de potencial agua a evaporarse. Con la determinación de los índices de aridez, humedad se hace un balance entre lo que llueve y lo que se evapora a través del índice hídrico, que sirve de insumo para establecer los grupos climáticos de la clasificación.

La labor de clasificar regiones geográficas según las características climáticas conlleva a analizar el comportamiento de las variables climática dentro del sistema con la ayuda de índices que ayudan a comprender su comportamiento. Por tanto, el siguiente paso para la clasificación climática según el método de Thornthwaite, es calcular los índices de aridez y humedad, los cuáles determinan el índice hídrico de una región. El índice de aridez anual (I_a) es la relación entre el déficit de agua anual y la necesidad de agua anual, ecuación [7]. El índice de humedad (I_h) es la relación entre el exceso de agua y la necesidad, ecuación [8]. Finalmente, el índice hídrico (I_m) es el balance entre el índice de aridez y el índice de humedad (ecuación [9]).

El método utilizado en el cálculo de la ETP, influye en el resultado de los índices ya que según sea el caso ofrecerá un resultado mayor en la necesidad de agua para evaporarse. En este estudio el 100% de las estaciones para ambas ecuaciones tienen índice de aridez igual a 0, lo que indica que toda la región en estudio no tiene déficit de agua a lo largo del año.

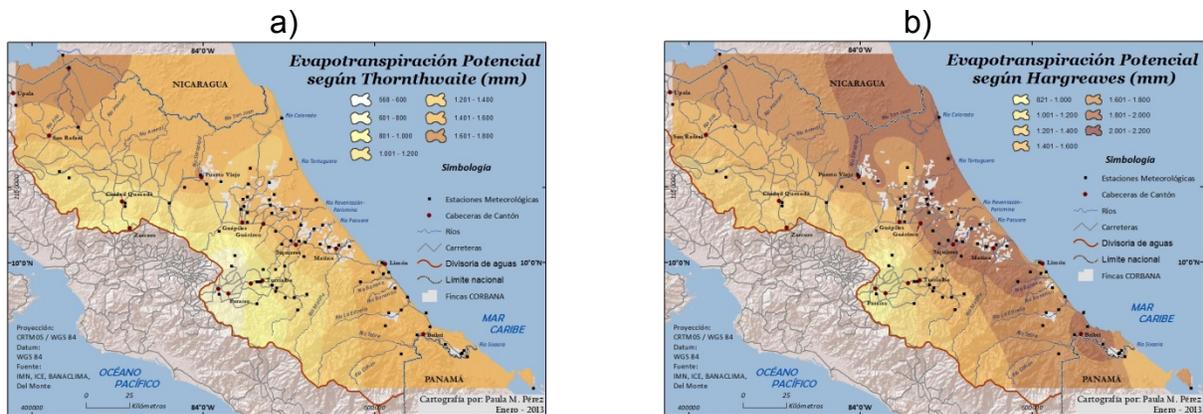


Figura 26 Distribución espacial de la evapotranspiración potencial utilizando el método de:

a) Thornthwaite; b) Hargreaves (elaboración propia).

$$I_a = \frac{\text{Déficit de agua anual (mm)}}{\text{Necesidad de agua anual (mm)}} \times 100 \quad [7]$$

$$I_h = \frac{\text{Exceso de agua anual (mm)}}{\text{Necesidad de agua anual (mm)}} \times 100 \quad [8]$$

$$I_m = I_h - I_a \quad [9]$$

En cuanto al índice de humedad, en la ecuación de Thornthwaite el balance entre el exceso de agua y la necesidad de agua para evaporarse va desde 2% a 665%, ver Tabla 2. La distribución espacial del índice de humedad muestra valores bajos en el noroeste y sureste del área de estudio ya que son áreas que presentan precipitaciones inferiores al resto de la región, pero mantienen altas temperaturas lo que se traduce en una menor evapotranspiración potencial en comparación con el resto del área de estudio. En el sector norte se forma un núcleo de humedad, debido a la alta pluviosidad y las altas temperaturas, es decir hay potencial para evaporar y a la vez hay disponibilidad de agua. Hacia las zonas montañosas, aumenta la humedad en el medio ya que las altas precipitaciones y temperaturas no tan altas ocasionan que se mantenga la humedad en el sistema.

En el caso del cálculo del índice de humedad utilizando la ETP de Hargreaves los valores oscilan entre 3% y 430% (ver Tabla 1); esta diferencia se debe a que los valores de ETP son mayores a los calculados con Thornthwaite, lo que reduce el exceso hídrico en el sistema. Hacia las partes altas de la vertiente Caribe se mantienen los valores altos de humedad, a pesar que la ETP es mayor que en el caso anterior.

El índice hídrico tiene el mismo comportamiento que el índice de humedad como consecuencia que el índice de aridez tiene valor cero; retomando la ecuación [9], el índice hídrico es igual al índice de humedad (ver Figuras 5a y 5b).

Como ejercicio, se realizó la clasificación utilizando los dos métodos para compararlos, sin embargo, se reitera la recomendación en utilizar la ecuación [6], por los resultados

que arroja en función de las variables que emplea. Se determinaron grupos climáticos y se les asignó una provincia de humedad (ver Tabla 1).

El número que acompaña a los grupos hace referencia a la provincia térmica e índice de humedad. Además, para delimitar estos grupos se utilizaron criterios de altitud a partir de curvas cada 100 m en escala 1:250000 de los mapas base del Instituto Geográfico Nacional. La Figura 6 muestra el ejercicio para clasificación utilizando la ecuación [4], en donde se obtienen 7 grupos climáticos; la nomenclatura para cada grupo está descrita en la Tabla 3.

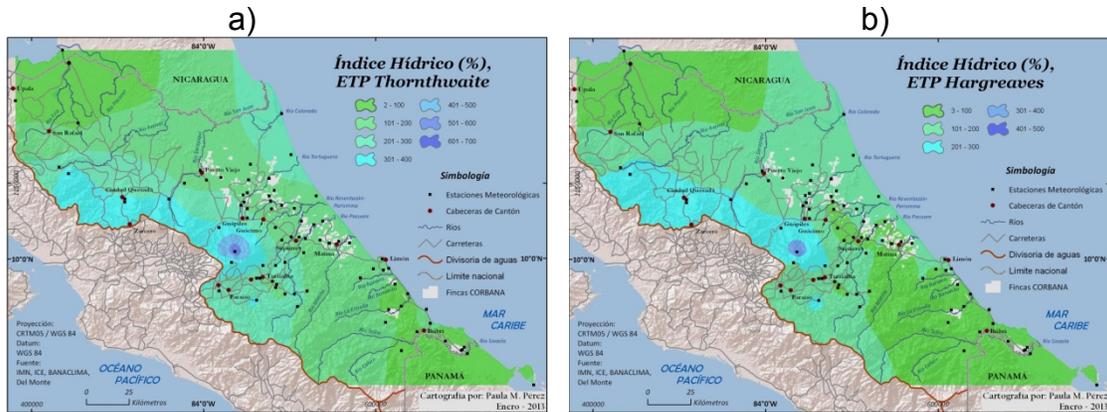


Figura 27 Índice hídrico utilizando los valores de Evapotranspiración Potencial de a) Thornthwaite, b) Hargreaves (elaboración del proyecto).

La Figura 7 muestra la clasificación climática para la vertiente Caribe. Utilizando la ecuación [6], se obtienen 10 grupos climáticos descritos en la Tabla 3 y se observa mayor detalle en su regionalización. La provincia menos húmeda (B3) se localiza al norte con bajas precipitaciones y altas temperaturas. La zona litoral norte pertenece a la provincia de humedad G (muy húmeda) y varía por los rangos de evapotranspiración potencial. El litoral Caribe sur es menos húmedo por las altas temperaturas y pluviosidad moderada, en él se encuentran los grupos E6 y F6, ambos en la provincia de humedad: “húmeda”. En las partes montañosas la humedad es mayor y por ello se encuentran ahí los grupos climáticos con mayor humedad G14 y H6; muy húmedo y excesivamente húmedo, respectivamente. Cabe resaltar que en esta zona se encuentra el Parque Nacional Braulio Carillo característico por ser un bosque siempre verde.

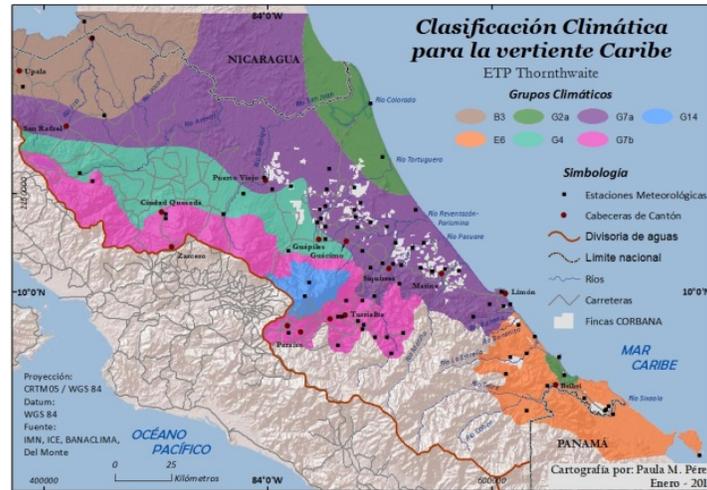


Figura 28 Clasificación climática para la vertiente Caribe, utilizando la ecuación de Thornthwaite (elaboración propia).

Un aspecto importante de resaltar es que Thornthwaite y Hargreaves, son solo dos de los varios métodos disponibles para evaluar la ETP (Penman, por ejemplo es otro de ellos), como lo discuten Lu *et al.* (2005). Bautista *et al.* (2009) discuten la comparación de los métodos aquí usados para zonas en los trópicos semiáridas y sub-húmedas calibrados con el método de Penman (1948).

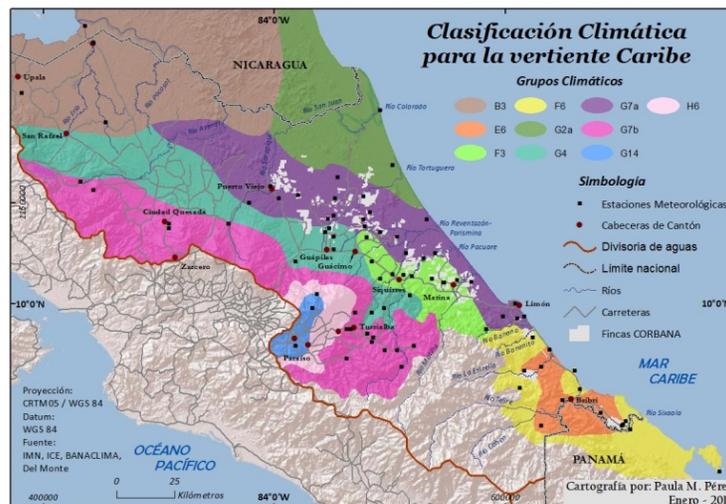


Figura 29 Clasificación climática para la vertiente Caribe, utilizando la ecuación de Hargreaves (elaboración propia).

Grupo Climático	Características
B3	Clima subhúmedo húmedo, muy caliente, con un déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 1710 – 2600
	Temperatura media anual= 25-27 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= > 1710
	Índice de aridez (%) = 0-10
	Índice hídrico (%) = 0-20
E6	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 2500 -3100
	Temperatura media anual= 22-26 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1565-1920
	Índice de aridez (%) = < 3
	Índice de hídrico (%) = 60-80
F3	Clima húmedo, muy caliente, con déficit pequeño de agua.
	Precipitación media anual (mm) = 3080-3420
	Temperatura media anual= 25 - 27 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= > 1710
	Índice de aridez (%) = 0-10
	Índice hídrico (%) = 80-100
F6	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua, o sin déficit
	Precipitación media anual (mm) = 2800-3420
	Temperatura media anual= 22-26 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1565 -1710
	Índice de aridez (%) = < 3
	Índice de hídrico (%) = 80-100
G2a	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 2200- 2740
	Temperatura media anual= 25- 27 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= > 1450
	Índice de aridez (%) = 0 – 2
	Índice hídrico (%) = 100-300
G4	Clima muy húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua o sin déficit
	Precipitación media anual (mm) = 3130-4700
	Temperatura media anual= 21- 26 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1040- 1515
	Índice de aridez (%) = 0- 10
	Índice hídrico (%) =100- 300
G7a	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 2840-4800
	Temperatura media anual= 24 - 26 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1420-1656
	Índice de aridez (%) = 0- 10
	Índice hídrico (%) =100- 300

Grupo Climático	Características
G7b	Clima húmedo, caliente, con déficit pequeño de agua
	Precipitación media anual (mm) = 2100-5600
	Temperatura media anual= 18- 22 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 1020-1656
	Índice de aridez (%) = 0- 10
	Índice hídrico (%) =100- 300
G14	Muy húmedo, frío, con déficit pequeño de agua.
	Precipitación media anual (mm) = 1700- 3200
	Temperatura media anual= 7-9 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 820 -997
	Índice de aridez (%) = 0- 5
	Índice hídrico (%) = 100 - 300
H6	Clima excesivamente húmedo, frío, con un déficit muy pequeño de agua.
	Precipitación media anual (mm) = 3400- 4400
	Temperatura media anual= 6- 9 °C
	Evapotranspiración potencial anual (mm)= 855- 997
	Índice de aridez (%) = 0-5
	Índice hídrico (%) = 300-600

Tabla 16 Grupos climáticos (elaboración del proyecto).

CONCLUSIONES

Al utilizar un método más complejo, el de Hargreaves comparado con el de Thornwaite, para el cálculo de la ETP, el cual calcula esta variable utilizando datos de temperatura media mensual, la diferencia entre temperatura mínima mensual y temperatura máxima mensual así como la radiación incidente en el límite de la atmósfera, se encontró que esta modificación, como es de esperar, arroja diferencias en el balance hídrico ya que este método supone mayor evaporación Thornthwaite, lo que requiere un mayor aporte del recurso hídrico para mantener el balance de agua en el sistema.

Al contrastar los métodos para el cálculo de la ETP, se observó que la de Thornthwaite propone una distribución regular a lo largo del litoral con valores mínimos de 570 mm hasta 1800 mm, alrededor del lago de Nicaragua, mientras que en la zona Caribe, propiamente, los valores oscilan entre 1200 y 1400 mm de evapotranspiración potencial anual. La de Hargreaves presenta valores entre 820 mm y 2200 mm aumentando la cantidad de agua evaporada potencial en la región, esto responde a las altas temperaturas y a la poca amplitud térmica estacional en la región húmeda caribeña con núcleos en la parte sureste de la zona de estudio (Caribe sur). Hacia el norte de la región se observan los valores máximos de potencial de agua a evaporarse. Con la determinación de los índices de aridez, humedad se realizó un balance entre lo que

llueve y lo que se evapora a través del índice hídrico, que sirvió de insumo para establecer los grupos climáticos de la clasificación.

La clasificación climática para la vertiente Caribe (utilizando Hargreaves), arrojó 10 grupos climáticos descritos y se observó un mayor detalle en la regionalización. La provincia menos húmeda (B) se localiza al norte debido a las bajas precipitaciones y altas temperaturas. La zona litoral norte pertenece a la provincia de humedad G (muy húmeda), y varía por los rangos de evapotranspiración potencial. El litoral Caribe sur es menos húmedo por las altas temperaturas y pluviosidad moderada, en él se encuentran los grupos E6 y F6, ambos en la provincia húmeda. En las partes montañosas la humedad es mayor y por ello se encuentran ahí los grupos climáticos con mayor humedad G14 y H6, muy húmedo y excesivamente húmedo, respectivamente. Cabe resaltar que en esta zona se encuentra el Parque Nacional Braulio Carillo característico por ser un bosque siempre verde.

La clasificación climática confirma que la vertiente Caribe es una región húmeda. La precipitación es alta y se distribuye de forma no homogénea en el espacio, con temperaturas también altas lo que ocasiona una alta evapotranspiración potencial. Al analizar los resultados obtenidos, se recomienda utilizar la clasificación climática a partir del cálculo de la ETP usando Hargreaves, ya que esta toma en cuenta más variables físicas, como la diferencia entre la temperatura mínima anual y temperatura máxima anual, lo que la hace más robusta en sus resultados. Un aspecto importante de resaltar es que hay otros métodos disponibles para evaluar la ETP (Penman, por ejemplo es uno de ellos), aunque en general el número de variables, como lo discuten Lu *et al.* (2005), necesarias para su uso es más exigente.

BIBLIOGRAFIA

(Amador, J. (2013). *Informe Final del proyecto V.I. 805-B0-402: Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera*. Presentado a la Corporación Bananera Nacional (CORBANA). Elaborado por Centro de Investigaciones Geofísicas, Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica-CIGEFI-VI-UCR.

Amador, J. (2012). *Informe Segundo del proyecto V.I. 805-B0-402: Clima, variabilidad y cambio climático en la Vertiente Caribe de Costa Rica: Un estudio básico para la actividad bananera*. Presentado a la Corporación Bananera Nacional (CORBANA). Elaborado por Centro de Investigaciones Geofísicas, Vicerrectoría de Investigación de la Universidad de Costa Rica-CIGEFI-VI-UCR.

Bautista, F., Bautista, D., & Delgado-Carranza, C. (2009). Calibration of the equations of Hargreaves and Thornthwaite to estimate the potential evapotranspiration in semi-arid and subhumid tropical climates for regional applications,. *Atmósfera* , 22(4), 331-348.

- Hargreaves, G. H. (1981). Responding to tropical climates. . En *The 1980-81 Food and Climate Review, The Food and Climate Forum, Aspen Institute for Humanistic Studies, Boulder, Colo* (págs. 29-32.).
- Herrera, W. (1985). *Clima de Costa Rica: Vegetación y Clima de Costa Rica*. San José: Universidad Estatal a Distancia.
- Lu, J., Sun, G., Amatya, D., & McNulty, S. (2005). A Comparison of Six Potential Evapotranspiration methods for regional use in the Southeastern United States. *Jour. Amer. Water Resour. Assoc.*, 41, 621-633.
- Mather, J. R. (1974). *Climatology: fundamentals and applications*. New York: McGraw Hill.
- Penman, H. L. (1948). Natural Evaporation From Open Water, Bare Soil and Grass. En *Proc. Roy. Soc. London, A* (págs. 193:120-146.).
- Thornthwaite, C. W. (1948). An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*,, 38(1), 55-94.

CC.12.P. Adaptación ante el cambio climático en el sector hídrico de México

Climate Change Adaptation in the Water Sector of Mexico

N. Ivette Reza García¹; Carlos Patiño Gómez¹
ivette_reza@tlaloc.imta.mx; carlos_patino@tlaloc.imta.mx
¹Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México

RESUMEN

Para el Gobierno de México es prioridad, tanto el abasto del recurso hídrico como el asegurar el alimento a la población, y si a esto se le suma la problemática actual que generan los eventos climáticos extremos (huracanes, sequías, tormentas tropicales, entre otros) y los conflictos sociales, se tiene una gran dificultad que resolver. Al respecto, en 2012 se promulgó la Ley General de Cambio Climático y en junio de 2013, se presentó la Estrategia Nacional de Cambio Climático; mecanismos mediante los cuales se plantea hacer frente a dicha problemática.

Con la necesidad latente de enfrentar los efectos desfavorables que la variabilidad climática provoca año con año en México, especialistas de diversas disciplinas han contribuido para llevar al cabo acciones que ayuden a reducir la vulnerabilidad y aumenten la capacidad de reacción ante los impactos de los eventos mencionados.

Los sectores social y productivo son esencialmente los más vulnerables al cambio en el clima, derivado evidentemente de la afectación a los ecosistemas, para lo cual se considera que las medidas de adaptación a implementarse, deben estar vinculadas con la visión de desarrollo del país; asimismo, es importante tener en cuenta que este proceso de desarrollo coincida con la variabilidad climática y los escenarios futuros del clima, además de los cambios sociales, geo-políticos y económicos.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua -perteneciente al Gobierno Federal Mexicano-, en 2012 publicó un libro titulado *Adaptación al cambio climático* que se basa en estudios previos de vulnerabilidad, el cual consta de los siguientes capítulos:

- *Gobernanza en el sector hídrico. Políticas públicas y propuestas de adaptación en el sector social*
- *Adaptación en la calidad del agua ante el cambio climático*
- *Identificación y evaluación de medidas de adaptación en el sector hídrico*
- *Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático*

Palabras clave: cambio climático, adaptación, vulnerabilidad, recurso hídrico.

ABSTRACT

For the Government of Mexico is a priority, both the supply of water resources as ensuring food to the population, and if to this is added the current problems that generate extreme weather events (hurricanes, droughts, tropical storms, etc.) and social conflicts, it has very difficult issue to solve. In this regard, in 2012 the Climate Change Act was enacted, and in June 2013, the National Climate Change Strategy was presented, being identified these mechanisms as the main documents to address this problem.

With the latent need to face the adverse effects caused by climatic variability in Mexico every year, specialists from various disciplines have contributed to carry out actions in order to reduce the vulnerability and increase the resilience to the impact of the mentioned extreme events.

Social and productive sectors are essentially the most vulnerable to climate change, derived evidently from the effect on ecosystems, for which it is considered that adaptation measures to be implemented, must be linked to the country's development vision. Also, it is important to note that this development process match climate variability and future climate scenarios, in addition to social, geo-political and economic changes.

The Mexican Institute of Water Technology, belonging to the Mexican Federal Government, published in 2012 a book entitled Adapting to climate change based on previous studies of vulnerability, which consists of the following chapters:

- *Governance in the water sector. Public policies and adaptation proposals for the social sector*
- *Adaptation to climate change in the water quality sector*
- *Identification and evaluation of adaptation measures in the water sector*
- *Adaptation of irrigated agriculture to climate change*

Key words: climate change, adaptation, vulnerability, water resources.

INTRODUCCION

Sin duda, uno de los problemas más importantes que se plantean al abordar los procesos de adaptación en el sector hídrico, es la gestión del agua en la agricultura y en la transformación de los alimentos. Esta situación es relevante en México debido a que las manifestaciones del cambio climático no afectan por igual a todas las regiones

ni a los grupos humanos. La desigualdad en la distribución del recurso hídrico se muestra en el hecho de que la mayor parte de la población y por tanto, de las actividades económicas se concentran en la región centro-norte del país, en donde la escasez de agua es notable en los últimos años, lo que provoca conflictos y competencias entre diversos tipos de agricultura, entre el campo y la ciudad, y entre las mismas comunidades (Torres, 2012.).

Aunado a esto, México afronta otro problema en la calidad del agua. El calentamiento global y la reducción en la precipitación tienen un impacto sobre la biodiversidad, disponibilidad, salud humana, usos del agua, turismo, entre otros, que de manera directa o indirecta repercute en el abastecimiento de agua potable (Moeller, Ramírez, & Vázquez, 2012.).

METODOLOGIA

Para una eficiente planeación de acciones ante el cambio climático, es importante contar con la preparación más adecuada para enfrentar los desastres causados por eventos climáticos extremos, así como optimizar la gestión del riesgo y la capacidad de respuesta social frente a estos; lo cual, conllevará a reducir la vulnerabilidad y aumentará la resiliencia. Otro factor importante es diferenciar entre las acciones a implementar por eventos derivados de la variabilidad climática, que se denominan acciones de reacción, a las medidas de adaptación a implementarse por efectos del cambio climático (Patiño & Reza, 2012).

Es importante definir acciones de adaptación con probabilidades de éxito en cualquier sector, para lo cual es indispensable conocer su vulnerabilidad actual, para con ello, actuar en los sistemas más vulnerables que permitan incrementar su capacidad adaptativa futura ante el cambio climático. Para que la adaptación en el sector agrícola sea efectiva, es esencial que ésta sea considerada como un factor fundamental en el desarrollo económico y social, por lo que debe ser incluida en las políticas de estado y en armonía con las políticas de manejo sustentable de los recursos naturales, garantizando de esta manera, la seguridad alimentaria (Ojeda, Sifuentes, Rojano, & Iñiguez, 2012).

RESULTADOS

Los problemas y soluciones relativas al recurso hídrico son muy específicos para cada caso y lugar, pues dependen de la disponibilidad de agua *in situ*, del nivel de degradación de los ecosistemas y de las condiciones socioeconómicas. Y si a esto se le

añade el resultado de la variabilidad climática y de los efectos producto del cambio climático, la problemática se magnifica.

Gobernanza en el sector hídrico. Políticas públicas y propuestas de adaptación en el sector social (Torres, 2012.).

Los resultados más recientes de la medición de la pobreza en México, muestran un crecimiento de la pobreza alimentaria, entendida como el tipo de pobreza que se deriva de un ingreso total familiar insuficiente para adquirir la canasta básica. Esta forma de carencia es un peldaño de la vulnerabilidad, pues está unida a otras deficiencias en el acceso relacionadas con indicadores de rezago social, como la insuficiente escolaridad, la salud, la precariedad de los materiales de construcción o servicios a la vivienda.

Aun cuando las estadísticas oficiales muestran una intensificación de los fenómenos naturales, el desastre que ello conlleva, se debe a fallas que son atribuibles a dos esquemas de atención para enfrentar los retos que plantean los cambios climáticos:

- ✓ Una política de tipo asistencial que se basa en la transferencia de recursos, los cuales pueden ser muy importantes para los hogares rurales, pero que descuida el impulso a las alternativas productivas;
- ✓ Una estructura institucional que no propicia una suficiente participación social para establecer las medidas de resiliencia de la población a la exposición al cambio climático.

Adaptación en la calidad del agua ante el cambio climático (Moeller, Ramírez, & Vázquez, 2012.).

Para el año 2020, la calidad del agua en las cuencas de estudio, en general, se mantiene como aceptable para ambos indicadores de calidad del agua: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Sin embargo, para los años 2050 y 2080, se espera que la calidad del agua cambie a “contaminada” y “fuertemente contaminada”, de acuerdo con los escenarios climáticos.

Las medidas de adaptación se pueden desarrollar desde diversas perspectivas, respecto a la calidad del ambiente acuático, se propusieron algunas acciones:

- a) AMBIENTE ACUÁTICO. Efectos: Incremento de los niveles de nitrificación, toxicidad por metales y tóxicos en el agua, así como disminución de la concentración de oxígeno disuelto. Acciones posibles:
 - Limpiar acequias y canales.
 - Manejar los desechos comunitarios (líquidos y sólidos).
 - Realizar acciones de reducción de nutrientes en cuerpos de agua.
 - Mejorar el tratamiento de agua residual a nivel de cuenca, para la reducción de contenido de materia orgánica en descargas a ríos.
 - Remediación en cuerpos de agua para reducir la disponibilidad de nutrientes.

- Realizar vigilancia sobre cuerpos de agua afectados por hipoxia (disminución de la concentración de oxígeno disuelto).
 - En casos extremos implementar acciones de oxigenación y/u oxidación de materia orgánica.
 - Elaborar mapas de riesgo y monitoreo por florecimiento de cianobacterias.
 - Realizar vigilancia especial en cuerpos de agua donde se presenten valores de pH bajo, contaminación por metales y lluvia ácida.
 - Realizar mapeo de cuerpos de agua con alta probabilidad de solubilización de metales provenientes de sedimentos afectados por acidificación.
- b) DISPONIBILIDAD DE AGUA. Efectos: Reducción en su disponibilidad.
Acciones posibles:
- Reforestación de cuencas y de recuperación de vegetación riparia.
 - Acciones de captación y tratamiento del agua de lluvia.
 - Trabajar intensamente para la disminución de fugas en el sistema de agua potable.
 - Reforzar las prácticas de ahorro en el consumo de agua.
 - Sectorizar las redes de distribución de agua potable.
 - Realizar la recuperación de caudales en ríos con gastos mayores al ecológico.
 - Llevar a cabo la recuperación de caudales por reúso de agua en otros usos.
 - Establecer un programa de reducción de la extracción del agua, en cuerpos de agua afectados.
 - Mejorar la gestión de los sistemas públicos.
- c) FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA Y SALUD HUMANA POR METALES Y COMPUESTOS ORGÁNICOS PERSISTENTES (COP's). Efectos: Reducción de la disponibilidad de fuentes de abastecimiento de agua y concentración mayor de los contaminantes (metales y COP's). Acciones posibles:
- Establecer un programa especial de reducción de nutrientes en fuentes de abastecimiento con presencia de florecimientos de cianobacterias y materia orgánica por descargas a ríos.
 - Implementar un programa de acciones de retención de sólidos suspendidos en cauces de ríos.
 - Realizar acciones de retención de suelos y disminución de la erosión en pendientes altas.
 - Llevar a cabo monitoreo y vigilancia de oxígeno disuelto, metales y COP's.
 - Realizar reingeniería de los proceso de potabilización para la remoción de cianotoxinas, metales, COP's y presencia de mayor turbiedad.
- d) COSTAS. Efectos: Incremento en el nivel del mar. Acciones posibles (DEFRA, 2010):
- Realizar mapas de zonas prioritarias de protección costera.
 - Separar el drenaje pluvial del de agua residual.

- Establecer mayores acciones de infiltración de agua de lluvia en zonas costeras.
- Modificar los códigos de construcción para permitir la infiltración de agua de lluvia tratada en cada predio.
- Protección de los ecosistemas costeros de la urbanización, especialmente los humedales.

Identificación y evaluación de medidas de adaptación en el sector hídrico (Patiño & Reza, 2012).

El ciclo hidrológico juega un papel muy importante en el tema de adaptación. Debido al incremento de la intensidad de huracanes y otros fenómenos meteorológicos que inciden en territorio mexicano, se han generado cuantiosos daños e inundaciones recurrentes en los estados del centro y sureste del país, lo que ha provocado pérdidas humanas y materiales. Para resolver este problema se propuso:

- Mejorar la gestión del recurso hídrico en México con una visión de cambio climático. Para lo cual, se tendrá que implementar en su caso, o actualizar de ser necesario, el programa para el mejoramiento del drenaje pluvial y de control de avenidas.
- Un ejemplo de adaptación planeada ante inundaciones es la construcción de viviendas tipo Palafito, mismas que se pueden replicar.
- Implementar un Programa de reubicación para la población que habita en zonas vulnerables.
- Mejorar la gestión de los humedales es un factor que ayuda a contrarrestar las inundaciones, siempre y cuando se tenga una visión hacia la mitigación y adaptación al cambio climático.
- Reforestar en las zonas altas que padecen desertificación, para asegurar un menor escurrimiento hacia zonas inundables y al mismo tiempo, haya recarga de acuíferos.
- Crear un fondo viable para sustentar las acciones a seguir, así como implementar políticas y leyes que obliguen al uso sustentable de los servicios ecosistémicos.

Por otro lado, la sequía es un problema que está afectando actualmente gran parte del territorio mexicano, sobretodo en la zona norte de México, en la que se encuentra la mayor parte de las zonas agrícolas; lo que ha generado una disminución en la producción de alimentos.

- Como principal medida de adaptación ante tales efectos, se debe rediseñar un programa de acción inmediata que especifique las medidas de adaptación por región y por cultivo, debido a la variación de su ciclo.
- Modificar la forma de uso del agua para riego, garantizar su conservación y llevar al cabo acciones de restauración de suelos y cobertura terrestre.

- Modificar la forma en la que se manejan distintos tipos de subsidios directos o indirectos que, a menudo promueven el uso ineficiente y el consumo excesivo de agua con efectos importantes en otros ecosistemas, especialmente en los deltas de los ríos.
- Reforestar en las zonas altas que padecen deforestación y por ende, desertificación.
- Otro punto importante de tener en cuenta es que se pueden aprovechar los impactos del cambio climático, es decir, transformarlos a impactos positivos; por ejemplo, la posibilidad de generar nuevos cultivos.
- Crear un fondo viable para sustentar las acciones a seguir, así como implementar políticas y leyes que obliguen al uso sustentable de los servicios ecosistémicos.

Asimismo, la participación de los gobiernos regionales es básica en la aplicación adecuada de los recursos necesarios para realizar medidas de adaptación exitosas, destinadas a mejorar la seguridad del recurso hídrico a la población. Para lo cual, se propuso:

- Crear alianzas entre los intereses del sector y de la conservación. La energía hidroeléctrica (incluida la operación de represas) afecta a los ecosistemas del agua continental, ya que depende de un ciclo hidrológico sostenible; sin embargo, se pueden implementar acciones que reduzcan la vulnerabilidad a través de la restauración de la cobertura vegetal.
- Implementación de un Programa de mejoramiento en la calidad del agua con una visión de cambio climático.
- Mejorar la forma en se dá tratamiento al agua residual, modificando su manejo, mantenimiento y desarrollando mejor tecnología o implementando tecnología verde.
- Generación de un fondo para daños a la salud pública, específico para adaptación al cambio climático.
- Replanteamiento de las políticas actuales de salud en México con una visión de cambio climático.
- Implementar un plan de restauración y mantenimiento a playas y zonas costeras, que son de los lugares más afectados por los efectos de la variabilidad climática.
- Establecimiento de un plan de educación y difusión dirigido a la prevención y adaptación, así como desarrollar programas de educación permanente y programas de formación de estudiantes.
- Implementar un *Plan de cultura del agua* para la población en general -con énfasis en la población que habita cerca de las zonas más afectadas-, que garantice en el mediano y largo plazos, conciencia en la gente para no contaminar cuerpos de agua, acuíferos y escurrimientos.

Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático (Ojeda, Sifuentes, Rojano, & Íñiguez, 2012).

Con base en los estudios de vulnerabilidad llevados a cabo con anterioridad en el sector agrícola mexicano, bajo riego, a continuación se mencionan como resultado concreto, algunas acciones específicas para adoptar a corto y mediano plazo, como medidas de adaptación al cambio climático en las zonas de riego de México.

- El manejo del cultivo es prioritario, se propuso involucrar un ajuste de la temporada de siembra y cosecha, para evitar la presencia de periodos de estrés hídrico o térmico en etapas fenológicas críticas y así, minimizar la reducción en los rendimientos.
- Otro aspecto fundamental es la conservación de la humedad del suelo, mediante sistemas como el de labranza de conservación, que reduce la evaporación de la humedad del suelo.
- En cuanto a la modificación ambiental para los cultivos, se propuso llevar al cabo una conversión intensiva a la agricultura protegida (invernaderos y casa sombra), que permiten modificar una o más variables físicas o ambientales que afectan el comportamiento de las plantas. La agricultura protegida puede ser alternativa de adaptación al cambio climático a mediano y largo plazo, por la capacidad que tiene para controlar las condiciones ambientales y el potencial para realizar el uso eficiente de los insumos agrícolas.
- Es también importante el manejo del riego como una medida de adaptación a corto plazo, donde se identifican varias técnicas que permiten disminuir la cantidad de agua aplicada a los cultivos bajo condiciones de restricción del riego. El *humedecimiento parcial de la zona radical* es una técnica que permite el humedecimiento de manera parcial, por lo que no se humedece la totalidad de la zona de raíces. En el manejo del riego se debe tomar en cuenta que el rendimiento de los cultivos depende del grado de estrés hídrico producido en cada etapa fenológica. El riego deficitario es una técnica, ampliamente estudiada y aplicada en diversas regiones con problemas de disponibilidad de agua, que aplica una reducción del riego para suplir las demandas hídricas potenciales aplicada en las etapas fenológicas con menor impacto en los rendimientos por estrés hídrico.
- Por otro lado, la mejora de la aplicación del riego permitirá reducir la vulnerabilidad del sector agrícola bajo riego en condiciones de cambio climático, mediante la implementación de varias técnicas parcelarias de bajo costo para la conservación del agua. Si la aplicación de estas técnicas se complementa con una nivelación del terreno, los ahorros de agua se incrementan sustancialmente, ya que se mejora la uniformidad del riego. Una de estas técnicas se refiere a la implementación de surcos alternos, que establece que cuando las plantas son pequeñas, sus requerimientos de riego son bajos, por lo que el riego por surcos alternos es una técnica excelente, en especial si los agricultores tienden a la aplicación de un exceso de agua en el cultivo.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Gobernanza en el sector hídrico. Políticas públicas y propuestas de adaptación en el sector social (Torres, 2012.).

La presión que supone el cambio climático sobre el recurso hídrico se manifiesta en una elevación de la temperatura que afecta desigualmente a las regiones de México, que por su situación geográfica es particularmente vulnerable a las modificaciones del clima: sequías más fuertes y prolongadas en grandes extensiones de la mesa del norte; lluvias más intensas, inundaciones y huracanes más frecuentes en el centro y sur del país que afectan la agricultura de temporal, disminuyen los rendimientos y aumentan los costos de financiamiento y seguros contra desastres. A ello, se añaden otras acciones humanas como la competencia por los recursos, la contaminación de cuerpos de agua superficial por el vertido del agua residual, la salinización por exceso de fertilizantes, así como por la deforestación o el cambio de uso del suelo agrícola, acciones que tienen y tendrán, de acuerdo a diversos escenarios de aumento de la temperatura, graves efectos en la agricultura y en las condiciones de vida urbana, para no mencionar las pérdidas relativas.

Si la población no es consciente de las transformaciones del clima y los escenarios a mediano y largo plazo, es necesario plantear un cambio de prototipo frente a la vulnerabilidad social mediante la consolidación del capital social y la construcción de capacidades institucionales. Ello significa fortalecer la coordinación a todos los niveles, la transparencia, la rendición de cuentas y el fortalecimiento de los gobiernos e instancias locales para lograr la gobernanza del recurso hídrico, así como intensificar las medidas de concientización y educación de la población.

Esta cuestión es muy importante desde el punto de vista del sistema social, pues la vulnerabilidad social ante el cambio climático se relaciona con variables tales como el ingreso, el acceso a la tierra y el agua, la escolaridad, el acceso a la salud y la fortaleza institucional. De este modo, la vulnerabilidad social tiene varias dimensiones, además de las propiamente físicas, de carácter socio-económico, pero también socio-político, al incluir la institucionalidad en el desarrollo de las propuestas e implementación de políticas de adaptación.

Es necesario avanzar en la coordinación de los programas condicionando los subsidios y las transferencias monetarias a la adopción de medidas de mitigación y adaptación al cambio climático, previendo un uso racional del agua mediante la agricultura protegida o riego más eficiente; disminución o sustitución de fertilizantes químicos y una mayor vinculación con las entidades tecnológicas.

Adaptación en la calidad del agua ante el cambio climático (Moeller, Ramírez, & Vázquez, 2012.).

En este capítulo se presentaron las bases para que los directamente responsables de implementar medidas de adaptación y de enfrentar la problemática a venir, puedan tomar las mejores decisiones acerca de la adaptación regional o local necesarias.

Se concluye que no se podrán tomar decisiones acertadas para la protección del recurso hídrico, si no se cuenta con una base datos de calidad del agua sólida, completa, confiable y que considere los parámetros que permitan realizar una evaluación de impactos. Para ello, es necesario como primera etapa, redefinir y/o complementar los sitios de monitoreo, así como los parámetros de calidad del agua medidos, pues ellos, en primera instancia, fueron seleccionados sin considerar el tema de cambio climático. Claro, esto implica un gasto importante que los gobiernos Federal, Estatal y Municipal deberán cubrir en el corto plazo para poder proponer acciones fundamentadas que permitan atenuar los impactos de manera regionalizada y eficiente.

Por otro lado, analizando las acciones recomendadas, se vislumbra que los costos de no atender la problemática son mayores económica, política y socialmente.

Identificación y evaluación de medidas de adaptación en el sector hídrico (Patiño & Reza, 2012).

Generalmente, el medio ambiente es percibido por muchos como fuente de recursos naturales infinitos, los cuales son utilizados para alimento o para generar materias primas, de manera indiscriminada, sin regulación y sin orden. Esta conducta de sobreexplotación tiene como consecuencia el deterioro e incluso, en algunos casos, su abatimiento.

Es necesario resaltar que el recurso hídrico es, ante todo, un “servicio ecosistémico” que presta el medio ambiente y por tanto, es menester compensarlo con un pago que, como una de las medidas de adaptación implementadas ante el cambio climático, permita cubrir los gastos que implican la conservación y preservación del vital líquido.

Para que las medidas de adaptación a implementarse tengan el efecto planeado y trasciendan a futuro es indispensable vincularlas con la visión de desarrollo; sin embargo, hay que lograr que este proceso de desarrollo coincida con los escenarios futuros del clima y con los cambios sociales, geo-políticos y económicos. Del mismo modo, el enfoque de estimación de pérdidas ocasionadas por el cambio climático, tanto humana como económica, es otro factor que podría asegurar la implementación de las acciones de adaptación en el corto plazo.

El sector económico en México tiene conciencia sobre la conceptualización de los costos que implica el cambio climático a nivel global y que, como en todos los países en desarrollo, cuesta más trabajo enfrentar en todos los niveles. Bajo este panorama se tienen que iniciar procesos de adaptación o fortalecer los ya existentes, los cuales tenderán a crecer en las diversas actividades económicas relativas al sector hídrico.

Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático (Ojeda, Sifuentes, Rojano, & Íñiguez, 2012).

La respuesta de la agricultura al cambio climático se debe llevar a cabo al través de acciones de adaptación planificada para reducir la vulnerabilidad por impactos adversos o daño potencial, o para aprovechar las oportunidades asociadas a dicho cambio. La adaptación no debe proponerse en forma aislada, sino como acciones coordinadas e integradoras de agricultores, asociaciones, universidades, empresas y gobierno. Las estrategias de adaptación a corto plazo pueden basarse en la modificación o mejora de las prácticas agrícolas actuales, muchas de ellas, sencillas. Sin embargo, a largo plazo es necesario adaptar los sistemas agrícolas y el servicio de riego a las nuevas condiciones climáticas. La adaptación a largo plazo provoca ajustes permanentes a los sistemas de producción agrícola y requiere de la intervención del Estado para su planeación, promoción e implementación. Sin el apoyo del Estado las acciones de adaptación a largo plazo tendrán bajas posibilidades de adopción.

La agricultura de riego enfrenta varios retos sociales y económicos actualmente, provocados por las sequías recurrentes e intensas en los principales distritos de riego de México, que se intensificarán en el futuro por el impacto del cambio climático, marcando las proyecciones condiciones más secas y más calientes. Sin embargo, uno de los retos en la aplicación de acciones de adaptación en las zonas de riego será convencer no solo a los agricultores, sino también a los administradores y directivos de las asociaciones de usuarios de riego y tomadores de decisiones de las políticas hidro-agrícolas de México, que los cambios en los patrones climáticos son reales y se intensificarán durante el presente siglo, por lo que se requieren tomar acciones a corto plazo y planificar e implementar acciones a mediano y largo plazo.

Como una propuesta de política pública, se debe favorecer el desarrollo de nuevas variedades e híbridos resistentes al estrés térmico e hídrico, promover el ajuste en los paquetes tecnológicos a las nuevas condiciones climáticas que puede conducir a una reconversión productiva, el desarrollo o mejora de técnicas para la aplicación oportuna y eficiente de insumos agrícolas que incluye al riego y a los fertilizantes, el ajuste de políticas, leyes, reglamentos y normas para favorecer la implementación de acciones de adaptación estructurales en los distritos de riego. Sin duda, un cambio sustancial en la gestión de las zonas de riego será la planeación de las actividades asociadas con el servicio de riego, que incluye una mejor estimación de los volúmenes a distribuir a diferentes niveles de operación, así como de las demandas hídricas de los cultivos y del plan de cultivos acordes a las nuevas condiciones climáticas de la zona de riego.

BIBLIOGRAFIA

- IMTA, I. M. (2010). Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. En *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*. (Vol. Vol. III , pág. 162). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - Semarnat. México. .
- IMTA, I. M. (2012). Adaptación al cambio climático. . En *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*. (Vol. vol. IV, pág. 119). Instituto Mexicano de Tecnología del Agua - Semarnat. México.
- Moeller, C. G., Ramírez, S. N., & Vázquez, B. C. (2012.). Adaptación en la calidad del agua ante el cambio climático. En *Incluido en Adaptación al cambio climático*, (págs. 27-45.). IMTA.
- Ojeda, B., Sifuentes, E., Rojano, A., & Iñiguez, M. (2012). Adaptación de la agricultura de riego ante el cambio climático. En *Incluido en Adaptación al cambio climático* (págs. 71- 119.). IMTA .
- Patiño, G. C., & Reza, G. N. (2012). Identificación y evaluación de medidas de adaptación en el sector hídrico. En *Incluido en Adaptación al cambio climático* (págs. 47-69.). IMTA.
- Torres, S. G. (2012.). Gobernanza en el sector hídrico, políticas públicas y propuestas de adaptación en el sector social. En *Incluido en Adaptación al cambio climático* (págs. 9-25.). IMTA.

CC.13.P. Diseño de adobes urbanos para construcción de vivienda en México
Urban adobe design for housing construction in Mexico

Jorge A. Rodríguez Hernández¹, Marcos Algara Siller¹, Ángel Ismael Cárdenas Martínez¹, Gerardo Javier Arista González²
jorge.ptrt@gmail.com; 52(444) 826-2330, ext. 2105

¹Facultad de Ingeniería; Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

²Facultad del Hábitat; Universidad Autónoma de San Luis Potosí, México

Proyecto realizado bajo el apoyo del Fondo de Apoyo a la Investigación de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí bajo convenio C12-FAI-03-47.47 y con recursos del fondo PROMEP de Apoyo de Fomento a la Generación y Aplicación Innovadora del Conocimiento a través del convenio PROMEP/103.5/12/7964, ambos otorgados a Marcos Algara-Siller en 2012.

Correspondencia sobre el artículo a: Marcos Algara-Siller, Área Ciencias de la Tierra, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Edificio G-01, Calle Dr. Manuel Nava #8 en Zona Universitaria Poniente, CP 78290, San Luis Potosí, SLP, México. marcos.algara@uaslp.mx.

RESUMEN

Debido a la escasez de documentación sobre técnicas y materiales de construcción tradicional o natural para entornos urbanos, este proyecto propone bloques de suelo compactado que se adapten a las características de viviendas urbanas de la región. Se presenta un bloque de suelo estabilizado y compactado rentable y de bajo impacto ambiental. Esto se logra al retomar los principios de fabricación del adobe tradicional y su mejora a través de elementos aglutinantes y estabilizantes para obtener adobes que cumplan con las normas de construcción de México. Se busca la eliminación del proceso de cocción del ladrillo rojo debido a su alta contribución de gases de efecto invernadero y contaminantes nocivos a la salud. Además, este material se reintegra más fácilmente al ambiente natural, una vez cumplido el ciclo de vida de la vivienda, y ofrece una mejor capacidad térmica. Este trabajo presenta las dosificaciones probadas con materiales de la región y las capacidades de carga obtenidas, mayores a las especificadas por las normas de ladrillo rojo recocido y block de concreto. Los resultados obtenidos son la base para normas específicas para adobe de uso urbano.

Palabras clave: adobe, bloque de suelo, uso urbano, impacto ambiental.

ABSTRACT

Due to the lack of documentation and techniques for traditional or natural construction materials for urban use, this project presents compacted soil blocks to suit the characteristics of urban housing in the region. This research proposes a profitable and low environmental impact stabilized-compacted soil block. The principles of traditional adobe's manufacturing are retaken and enhanced by binding and stabilizing elements to obtain compacted blocks that meet urban construction norms in Mexico. The proposed material seeks the elimination of the high temperature furnaces needed on traditional brick manufacturing process, which contributes to a large amount of pollution, green house gases and wastes. Furthermore, this soil block reintegrates easier to the natural environment upon completion of the house's life cycle and offers better thermal behavior. This work presents the various dosages tested with regional prime matter and their load capacities, which are higher than commercial red brick and concrete blocks. The results set the basis for urban use soil block specifications.

Keywords: adobe soil block, urban construction, environmental impact

INTRODUCCION

Los materiales utilizados popularmente en la edificación impactan de manera considerable al ambiente debido a sus técnicas de elaboración. En el caso del block de cemento, el principal problema es el impacto de la industria del cemento que requiere grandes cantidades de energía. Esta se obtiene principalmente a través de aceites combustibles, carbón, coque y gas natural, además del uso de materiales de desecho para co-proceso como aceites gastados y estopas y telas impregnadas con este aceite. El consumo típico en una planta de cemento moderna es de 110-120 kWh por tonelada de cemento. La energía térmica se utiliza en el proceso de incineración, mientras que la energía eléctrica en la molienda de cemento (Madloul, Saidur, Hossain, & Rahim, 2011). En países industrializados el principal consumo de energía proviene de combustibles fósiles (75%) y el resto de energía eléctrica (25%). Actualmente, la industria del cemento aporta una huella de carbono elevada con un estimado entre el 5 y el 7% del total de CO₂ antropogénico mundial (Chen, Habert, Bouzidi, & Jullien, 2010).

Por otro lado, la fabricación manual de ladrillo recocido en México deriva en un producto de poca calidad. Sin embargo su uso es extendido a la par del block de cemento, e incluso más deseado para la vivienda de medio y alto nivel. La mezcla de arcilla con agua se hace directamente sobre el suelo, seguido de un secado al aire libre para finalizar con el proceso de cocción. Este parte del proceso es la que afecta en mayor medida el ambiente que lo rodea ya que se utilizan diversos materiales para los hornos: neumáticos, aceites usados, residuos industriales y materia orgánica de cualquier tipo. Entre las emisiones generadas en la cocción se encuentran: compuestos de azufre (SO₂, H₂S), compuestos de nitrógeno (NO, NH₃), material particulado, compuestos orgánicos de carbono, óxidos de carbono (CO, CO₂) y compuestos de halógenos (HF, HCL) (Ramírez, 2001).

Por esto, el mejoramiento de los materiales de construcción y su técnica de elaboración se vuelve un punto importante para la ciencia. Durante mucho tiempo el material de construcción predominante en climas cálido-secos y templados ha sido el suelo a través de diferentes técnicas. Los vestigios más antiguos que se tienen sobre esta práctica constructiva podrían ser los encontrados en Jericó, antigua ciudad situada en Cisjordania, en el periodo Neolítico Pre-Cerámico del 8,350 a.C. al 7,370 a.C.

Para lograr la transformación del suelo a un material de construcción, el hombre prehispanico adicionaba una serie de compuestos para estabilizar, modificar y controlar diferentes propiedades inherentes al material. De estos materiales, conocidos como materiales tecnogénicos, destaca por sus cualidades el adobe. Esto es fundamentalmente debido a cinco propiedades que lo caracterizan (Gamma, 2012):

- a) Bajo costo de fabricación y gran disponibilidad
- b) Alto ahorro de energía
- c) Gran trabajabilidad
- d) Fácil integración al ecosistema local, mediante los materiales y técnicas locales
- e) Fácil reciclamiento de los excedentes de construcción

A la utilización del suelo como material de construcción se le ha dado diferentes nombres. Se denomina barro a la mezcla de arcilla, limo, arena, agregados mayores como gravilla o grava. Los bloques de suelo arcilloso hechos a mano son comúnmente llamados bloques de barro o adobes. Por otro lado, cuando se habla de bloques comprimidos se emplea el término bloques de suelo, pero si son extruidos en una ladrillera y no son cocidos se emplea el término ladrillo crudo (Minke, 1994). Los términos tierra, masa de barro y tierra arcillosa resultan ambiguos e imprecisos para la ciencia, de acuerdo con Ericksen y Ardón (2003). Esta ausencia de unificación de criterios en cuanto a la terminología ha propiciado un limitado conocimiento acerca de varias características específicas del adobe, como son:

- a) Composición cuantitativa de la pasta
- b) Tipo de materia orgánica adicionada.
- c) Tipos de suelos o sedimentos utilizados para su elaboración
- d) Técnica constructiva

Es por eso que a partir de datos empíricos y algunas investigaciones previas se inicia la elaboración de un adobe compactado y estabilizado propio de la región árida y semiárida del estado de San Luis Potosí, México. Se comienza con la premisa de cumplir con las normas técnicas vigentes y aplicables. Los impactos positivos de este material es la reducción de generación de gases de efecto invernadero, evitar las emisiones a la atmósfera por la quema de combustibles no apropiados, reducir los costos energéticos y aportar un material de construcción de bajo costo, ambiental y económico.

METODOLOGIA

Granulometría del suelo

La materia prima principal de un adobe es el suelo, y este debe de cumplir ciertas características para que el producto final tenga la calidad deseable. La prueba granulométrica permite conocer la mecánica del suelo a través de su tamaño de partícula, para esto se utiliza el método de cribado por mallas, que generalmente llega hasta la malla N°200 (0.074mm).

Se realizaron pruebas a tres tipos de suelo: dos pruebas sobre suelo utilizado en la fabricación de los adobes presentados en el estudio; uno más de un posible nuevo banco de materiales en la región.

Las muestras de suelo se hacen pasar sucesivamente a través de un juego de tamices de aberturas descendentes. El suelo que se retiene en cada malla se pesa. Después, se llena una tabla de la cual se obtienen los datos para elaborar la curva granulométrica. La curva granulométrica es necesaria para calcular el coeficiente de

curvatura, coeficiente de uniformidad del suelo, y así definir con qué tipo de suelo se está trabajando.

El coeficiente de uniformidad se calcula con la siguiente formula:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

D₆₀: Diámetro de la partícula en la que se encuentra el 60% del peso pasante.

D₁₀: Diámetro de la partícula en la que se encuentra el 10% del peso pasante.

Un suelo con C_u < 3 se considera muy uniforme.

El coeficiente de curvatura se define con la expresión:

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \cdot D_{10}}$$

Donde:

D₃₀: Diámetro de la partícula en la que se encuentra el 30% del peso pasante.

Esta relación tiene un valor entre 1 y 3 en suelos bien graduados, con amplio margen de tamaños de partículas y cantidades apreciables de cada tamaño intermedio.

Una vez obtenidos los porcentajes de muestra retenidos en cada malla, el coeficiente de uniformidad y el de curvatura se utiliza el Sistema Unificado de Suelos para identificar el tipo de suelo.

Elaboración de adobes

Durante el proceso se elaboraron muestras de adobe compactado con diferentes formulaciones. Se utilizan dos tipos de suelo y distintas cantidades y tipo de estabilizante y de materia orgánica.

Las muestras de la A a la C se elaboran de manera tradicional, sin compactar y con el uso de abono de caballo por su contenido de paja. Se utilizan dosificaciones basadas en medidas empíricas según información de elaboración de productores de adobe tradicional. Para las muestras D a la F se utilizan dosificaciones reportadas en la bibliografía. A partir de la muestra G se estandarizaron las dosificaciones según los resultados obtenidos.

Además, se proponen muestras con mucílago de nopal de los llamados nopal tapón (*Opuntia robusta*) y nopal liso (*Opuntia ficus-indica*). Ambos nopales son muy comunes en la región, se conoce su manejo, producción y su mucílago se ha utilizado como protector natural en diversos elementos arquitectónicos tradicionales, mediante aplicación exterior. En esta propuesta se utiliza el mucílago como aditivo integral o sellador integral, es decir, se mezcla con los demás elementos para obtener adobes más resistentes a la lluvia. Otro de los elementos importantes es el uso del ixtle (*Agave*

Iechuguilla) que sustituye al abono o la paja. Esta fibra textil proviene del maguey o agave que es abundante en la región semi-desértica de la zona centro del estado de San Luis Potosí.

Tabla 17 Materiales y dosificaciones empleadas en la elaboración de los adobes

Tipo	Suelo 1 (kg)	Abono (kg)	Cemento (kg)	Cal (kg)	Agua (L)	
A*	35	3.37 (8.8%)	0	0	14	
B*	30	3 (8.4%)	0	2.6 (7.3%)	14	
C*	44	4 (7.8%)	3.22 (6%)	0	21.3	
D	45	4.5 (9%)	0	0	8	
E	45	4.5 (8.5%)	0	3.5 (6.6%)	9	
F	60	6 (8.5%)	4 (5.7%)	0	9	
	Suelo 1 (kg)	Ixtle (kg)	Cal (kg)	Yeso (kg)	Cemento (kg)	Agua (L)
G	24.25	0.045 (2%)	0	0	0.75 (3%)	5
H	23.5	0.045 (2%)	0.75 (3%)	0.75 (3%)	0	5
I	22	0.045 (2%)	1.5 (6%)	1.5 (6%)	0	6.5
	Suelo 1 (kg)	Ixtle (kg)	Cal (kg)	Yeso (kg)	Agua (L)	Mucílago (L)
J	30	0.06 (2%)	2.0 (6%)	2.0 (6%)	4.5	Liso (5.5)
K	30	0.06 (2%)	2.0 (6%)	2.0 (6%)	5	Tapón (5.5)
L	22	0.025 (2%)	1.5 (6%)	1.5 (6%)	3	Tapón (2)
	Suelo 2 (kg)	Ixtle (kg)	Cal (kg)	Yeso (kg)	Agua (L)	
M	38	0.086 (2%)	2.6 (3%)	2.6 (3%)	6.9	
N	76	0.086 (1%)	5.2 (6%)	5.2 (6%)	13.8	

* Fabricación tradicional sin compactar.

Resistencia a la compactación

Al no existir una normatividad para el adobe, se utilizan las normas para ladrillo rojo y bloque de cemento como referencia. Por esto, los resultados son una guía para describir el comportamiento del adobe y su cumplimiento para carga estructural.

Para esta prueba se sigue la norma NMX-C-036-ONNCCE-2004, que establece el método de prueba para la determinación de la resistencia a la compresión de bloques tabiques o ladrillos, tabicones y adoquines fabricados de concreto, cerámica, arcilla y otros materiales para la construcción.

Primero se realiza el método de cabeceo con azufre en la parte superior e inferior de la muestra mediante una placa metálica, para garantizar horizontalidad y evitar derrames. El papel del azufre en la prueba es proporcionar una superficie plana y nivelada para

lograr ejercer una presión homogénea en toda la superficie de la muestra. Este procedimiento se realiza para los adobes tradicionales y se presciende para los adobes compactados ya que sus superficies son homogéneas y planas.

La prueba se realiza en un instrumento de compresión automática (Automax 5, tamaño del adobe 30 x 15 x 12.5 cm), el cual solicita información de la muestra: peso de la muestra, área que recibirá la carga y edad de la muestra; además de los parámetros de prueba como velocidad con la que se aplica la fuerza sobre la muestra (kg/cm²·s), la variación negativa en la cual la maquina se detiene automáticamente (toneladas), y la carga máxima a la cual llega la maquina detenerse (toneladas).

La norma NMX-C-404-ONCCE-2012 establece las especificaciones y métodos de prueba que deben cumplir los bloques, tabiques (ladrillos) y tabicones para uso estructural en las edificaciones. En dicha norma se mencionan las resistencias mínimas a compresión sobre área bruta (Tabla 2). La resistencia que ofrece un buen comparativo es la del tabique en sus diversas presentaciones que exige un mínimo de 70kgf/cm².

Tabla 18 Resistencias mínimas a compresión sobre área bruta.

Tipo de pieza	Configuración	Resistencia media MPa (kgf/cm ²)	Resistencia mínima individual MPa (kgf/cm ²)
Bloque	Macizo	15 (150)	12 (120)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
Tabique (largo > 300mm)	Multiperforado	15 (150)	12 (120)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	9 (90)	7 (70)
Tabique (largo < 300mm)	Macizo	11 (110)	7 (70)
	Hueco	9 (90)	7 (70)
	Multiperforado	15 (150)	12 (120)

RESULTADOS

En la tabla 3 se puede apreciar los resultados del cálculo de los diámetros de partícula encontrados a cada porcentaje, además del coeficiente de uniformidad y de curvatura. En la figura 1 se muestran las tres curvas granulométricas.

Tabla 19 Resultados de la granulometría.

	D10	D30	D60	Cu	Cc
Suelo 1	0.19	0.28	0.40	2.10	1.03
Suelo 2	0.073	0.17	0.50	6.84	0.79
Suelo 3	0.10	0.32	0.44	4.4	2.3

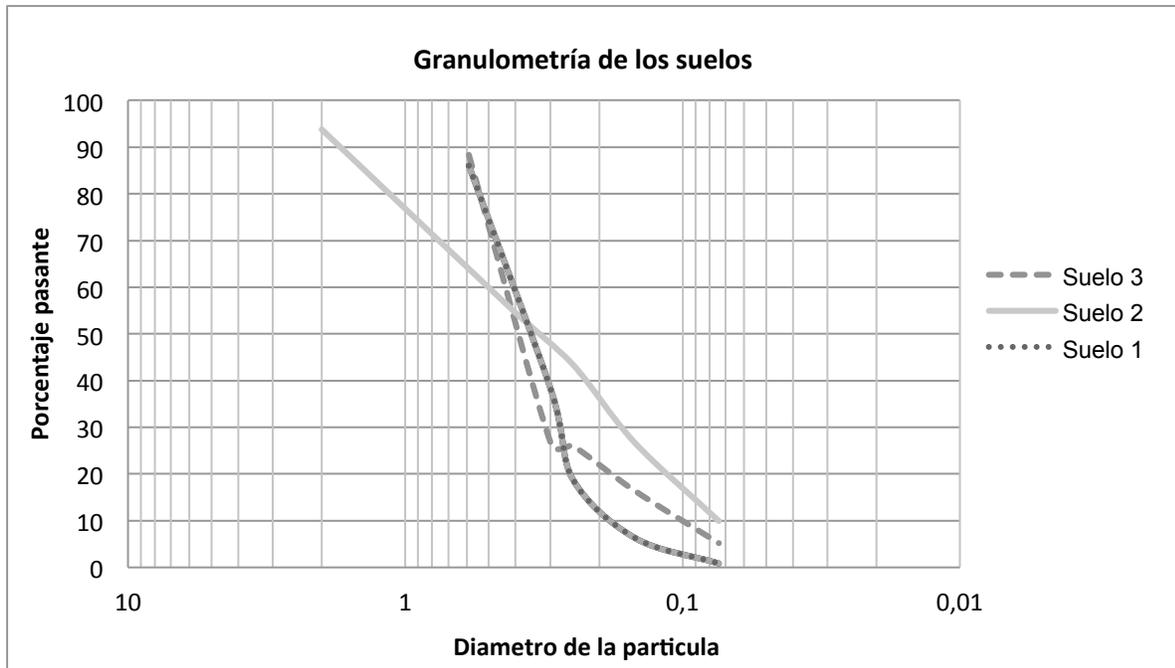


Figura 30 Curvas granulométricas de los suelos.

La figura 2 expone los resultados de la prueba de compresión de los 14 tipos de adobes. La línea recta horizontal representa el límite mínimo que exige la norma NMX-C-404-ONCCE-2012.

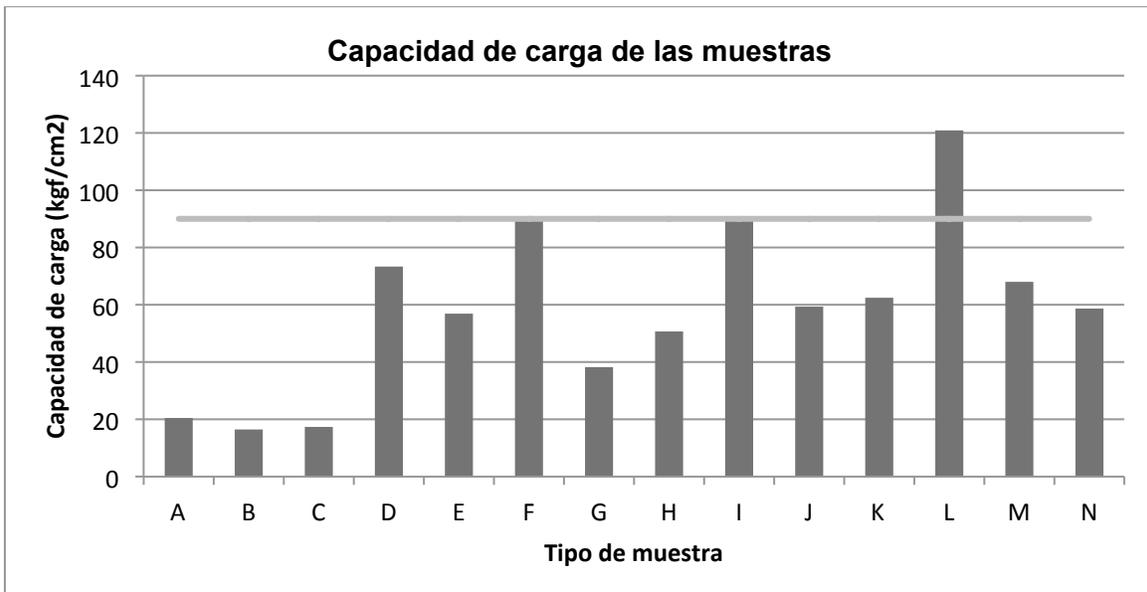


Figura 31 Comparación de la capacidad de carga.

Cabe reconocer que los adobes compactados logran, en la mayoría, cumplir con el mínimo de capacidad de carga de 70 kgf/cm².

DISCUSION DE RESULTADOS

Los tres tipos de suelos utilizados corresponden a arenas finas-medias, con pocas partículas de arcilla y limo. Los suelos Tipo 2 y Tipo 3 contienen algo de arenas gruesas (6 y 11% respectivamente), mientras que el Tipo 1 no contiene arenas gruesas.

De los dos suelos con los que se elaboraron adobes, el suelo Tipo 1 tiene mejores características que el suelo Tipo 2. Las muestras elaboradas con el suelo Tipo 2 se desmoronan muy fácilmente, excepto en las muestras M y N donde se presentaron características óptimas para su falla.

En primera instancia se empleó estiércol seco de caballo como materia orgánica en la fabricación de los adobes porque, aparte del estiércol de vaca, es el usado comúnmente en la región. Se sustituye el estiércol por fibras de ixtle (*agave lechuguilla*) por las siguientes razones:

1. Los contenidos de material fecal en muros no promueven una buena percepción y puede ocasionar problemas de salud.
2. El ixtle sustituye correctamente a las fibras sin digerir que se encuentran en el excremento.
3. Además, el ixtle es una materia prima que se encuentra en abundancia en la zona semiárida de San Luis Potosí.

El implemento de mucílago surge de su uso como aditivo para pinturas impermeabilizantes (Aguirre, 2011). Su función, además de proteger contra la humedad, es como aglutinante en la mezcla. La concentración de mucílago que se obtiene depende de varios factores como: la temporada en la que se corta el nopal, su edad y la técnica de extracción.

De los dos nopales que se utilizaron, nopal tapón (*Opuntia robusta*) y nopal liso (*Opuntia ficus-indica*), el primero arroja los mejores resultados. Se considera que se puede mejorar la extracción de mucílago. No se puede dejar de lado la limitante sobre el uso del mucílago en un lapso de 3 días, después del corte de la penca, para evitar su pudrición y la pérdida de calidad. Esto se verifica con las muestras J y K cuyo mucílago se dejó reposar por más de tres días y su capacidad de carga se reduce notoriamente.

Las muestras F, I y L arrojan los mejores resultados. Las dos primeras están muy cerca de la capacidad de carga media que establece la norma. La muestra F contiene cemento como estabilizante, mientras que las muestras I y L logran aumentar su capacidad a la compresión al sustituir al cemento con yeso. En la muestra L se aprecia la mejoría que se obtiene con el mucílago de nopal, superando satisfactoriamente la norma vigente.

CONCLUSIONES

El adobe compactado y estabilizado demuestra que se puede tener un material de construcción óptimo para la construcción de vivienda urbana en una zona árida y semiárida como en la que se encuentra San Luis Potosí. De acuerdo a las normas de materiales comerciales, se puede construir mediante el sistema de muros de carga hasta 3 niveles.

Los insumos que se requieren se encuentran en un radio muy corto dentro de la Zona Centro del estado. Además de la baja huella ecológica en su fabricación, se promueve la creación de una industria para grupos minoritarios de esta zona con un potencial de uso muy elevado por el acelerado crecimiento de la capital del mismo nombre, San Luis Potosí.

De los suelos utilizados, solamente uno de ellos proporciona las características deseadas, pero su extracción no es la más cercana a la zona urbana de la capital. Se debe encontrar un banco de material de características similares a la mitad de la distancia actual de 100 km del banco actual, para considerarse en un rango de impacto aceptable.

La extracción y almacenamiento del mucílago de nopal se debe perfeccionar y estandarizar para sea fácilmente incorporado a la línea de producción de los adobes. Una de las pruebas que requieren resultados robustos es la de intemperismo con este aditivo natural integral. Esto, con el objetivo de lograr un material con mejor desempeño en climas más húmedos. De esta manera, se podrían utilizar los adobes en la Zona Media y Huasteca del estado, donde las precipitaciones son mucho más abundantes y el clima llega a ser cálido tropical en la zona Huasteca, cercana al Golfo de México.

Recientemente se publicó la Norma técnica mexicana de edificación sustentable NMX-AA-164-SCFI-2013 para Edificación sustentable – criterios y requerimientos ambientales mínimos que promovió la Secretaría de Economía de México. Esta extensa norma, que sirve como guía de manera voluntaria, ofrece ya algunos parámetros para materiales de construcción y sus valores de conductividad térmica y aislamiento térmico, trabajo inédito en el camino de lograr una vivienda sustentable en el país.

BIBLIOGRAFIA

NMX-C-036-ONNCCE-2004. (s.f.). Norma mexicana.

Almusaed, A. (2011). *Biophilic and bioclimatic Architecture*. Gran Bretaña: Springer.

Chen, C., Habert, G., Bouzidi, Y., & Jullien, A. (2010). Environmental impact of cement production: detail of the different processes and cement plant variability evaluation. . *Journal of Cleaner Production*, , 18, 478-485.

- Ericksen, P., & Ardón, M. (2003). Similarities and differences between farmer and scientist views on soil quality issues in central Honduras: *Geoderma*, 111, 233-248.
- Gamma, J. (2012). Arquitectura de tierra: el adobe como material de construcción en la época prehispánica. . *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 64(2), 177-188.
- Gatani, M. (2000). *Producción de ladrillos de suelocemento. Una alternativa eficiente, económica y sustentable*. . *Informes de la Construcción*, 51 (466).
- Guerrero, L. (2011). Revestimientos. *Técnicas de Construcción con Tierra*. Red Iberoamericana PROTERRA.
- Juárez, E., & Rico, A. (2005). Mecánica de suelos I: Fundamentos de la Mecánica de Suelos. . Mexico: Limusa.
- Madlool, N., Saidur, R., Hossain, M., & Rahim, N. (2011). A critical review on energy use and savings in the cement industries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 2042-2060.
- Minke, G. (1994). Manual de construcción en tierra. . *Alemania: Fin de Siglo*.
- Morales, J., Ortiz, M., & Alvaréz, R. (2007). Mejoramiento de las propiedades mecánicas del adobe compactado. *Naturaleza y Desarrollo*, 5 (1).
- NMX-AA-164-SCFI-2013. (s.f.). Norma mexicana. Secretaría de Economía. Gobierno de la República Mexicana.
- NMX-C-404-ONNCCE-2012. (s.f.). Norma mexicana.
- Ramírez, B. (2001). Estudio del impacto ambiental en el proceso de elaboración de ladrillo en la comunidad del Chote. . *Tesis de licenciatura*. . Universidad Veracruzana.
- Romero, G. (2002). Construyendo con Adobe una Casa Resistente. Perú: Fondo Editorial Centro de Estudios y Prevención de Desastres.
- Roux, S., & Olivares, M. (2002). Utilización de ladrillos de adobe estabilizados con cemento portland al 6% y reforzados con fibra de coco, para muros de carga en Tampico. . *Informes de la Construcción*, 53 (478).
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (s.f.). Manual de métodos de muestreo y prueba de materiales. M-MMP-4-04-008-03.

CC.14.P. Aportes de materia orgánica particulada en una quebrada altoandina
Particulate organic matter inputs on an andean mountain creek

Margarita del Rosario Salazar-Sánchez¹, Mónica Patricia Valencia-Rojas², Apolinar Figueroa-Casas³

¹ *M.Sc. Bióloga. Investigadora GEA. Universidad del Cauca. Universidad del Cauca. Popayán, Cauca. margaritasalaz@gmail.com*

² *Ph.D (c). Bióloga. Investigadora GEA. Universidad del Cauca. Popayán, Cauca.*

³ *Ph.D. Director científico Centro internacional de Investigación e Innovación del Agua (CIAGUA). Director GEA. Profesor Universidad del Cauca. Popayán, Cauca.*

RESUMEN

La variabilidad y cambio climático afecta a una amplia variedad de parámetros climáticos, incluyendo la hidrología, precipitaciones, cambios en la temperatura en todos los ambientes, con gran impacto sobre ecosistemas acuáticos y debido su importancia, se determinó la dinámica temporal de la materia orgánica particulada en la quebrada Arrayanales, teniendo en cuenta los eventos de precipitación y su efecto sobre la cantidad de materia orgánica particulada fina (MOPF), gruesa (MOPG) y total (MOPT), que ingresa y es transportada aguas abajo de la Quebrada. Se plantearon como objetivos establecer la cantidad y la variación de las entradas laterales, verticales y el transporte de materia orgánica particulada alóctona (MOP), contando a la precipitación y el caudal como variables hidroclimáticas. Para ello, se seleccionó un tramo de 800m de la Quebrada, para la ubicación de 16 trampas de colecta de aportes del material orgánico lateral y vertical. Los resultados demuestran que la Quebrada Arrayanales, es un ecosistema con tendencia al transporte de grandes cantidades de MOPG, con un bajo potencial de almacenamiento y mecanismos para el ingreso orgánico alóctono, que dependen del régimen de precipitaciones. Las altas precipitaciones se relacionaron mayormente con el transporte de MOPG, que con la MOPF. Los aportes verticales y laterales fueron dominados por la MOPG, con promedios totales de 10.858 g PSLC m⁻² y 6.053 g PSLC m⁻² respectivamente. El transporte en el tramo de estudio fue de 37.83 g m⁻³ MOPT, 32.88 g m⁻³ MOPG y 4.94 gm⁻³ MOPF.

Palabras clave: Variabilidad climática, Almacenamiento, Transporte, Quebrada Altoandina.

ABSTRACT

Variability and climate change affects a wide variety of climatic parameters including hydrology, rainfall, temperature changes in all environments, with great impact on aquatic ecosystems and because of its importance. It was determined the temporal dynamics of particulate organic matter in the Arrayanales creek, considering rainfall events and their effect on the amount of fine particulate organic matter (FPOM) and coarse (CPOM), who enters and is transported downstream the Creek. The objectives were to establish the amount and variation of the side inputs, vertical transport allochthonous particulate organic matter (MOP), and taking into account the precipitation and flow hydroclimatic variables. To do this, it was selected an 800m stretch of the creek, for the location of 16 inputs organic material laterally and vertically collecting traps. The results show that the Arrayanales creek is an ecosystem with a tendency to transport large amounts of CPOM, low storage potential and mechanisms for allochthonous organic income, depending on the rainfall. The high precipitation is mostly related to the transport of CPOM, than with FPOM. The vertical and lateral inputs were dominated by the CPOM, with overall averages of 10,858 g AFDW m⁻² and 6.053 g AFDW m⁻² respectively. The Organic matter transported in the study was 37.83 g m⁻³ MOPT, 32.88 g m⁻³ CPOM and FPOM 4.94 gm⁻³.

Keywords: Climate variability, Storage, Transport, Andean Mountain Creek.

INTRODUCCION

Los ambientes acuáticos altoandinos son extremadamente sensibles a la variabilidad y cambio climático debido a que la inmensa mayoría dependen de la precipitación anual o, incluso, de la estacional. Los niveles y caudales de la mayoría de ecosistemas lóticos se vinculan a la precipitación a corto plazo de modo muy directo. Obviamente, la temperatura del aire también condiciona los sistemas acuáticos a través de su influencia directa en la temperatura del agua, que -a su vez- afecta a los procesos metabólicos y biogeoquímicos que suceden en los ecosistemas acuáticos (Carpenter, Fisher, Grimm, & Kitchell, 1992).

Por otra parte, las influencias climáticas indirectas son muy importantes en los ambientes acuáticos continentales de montaña, ya que éstos resultan muy dependientes de la cuenca hidrográfica, por tanto, los efectos del cambio climático sobre los suelos y la vegetación de aquélla tendrán también unos efectos adicionales sobre los ambientes acuáticos (Catalán, y otros, 2002), también sobre las comunidades biológicas. En general, las cuencas hidrográficas son muy grandes en comparación con los ecosistemas acuáticos situados en ellas, con lo cual éstos acusan una gran influencia del paisaje (Prat, 1995). Los cambios en la transpiración de la vegetación terrestre, por ejemplo, probablemente tengan una gran incidencia sobre la

disponibilidad del agua y nutrientes como eslabón en las cadenas tróficas como materia orgánica particulada y disuelta en las cuencas hidrográficas (Shindler, 2001).

En quebradas de primer orden, como la quebrada Arrayanales, la materia orgánica particulada alóctona (MOP) que recibe proviene de la vegetación riparia y es considerada como la mayor fuente de energía para sus comunidades acuáticas (Anderson & Sedell, 1979), (Cummins & Klug, 1979), (Bianchi, Wysocki, Stewart, Filley, & A.); y como fuente de energía en los sistemas acuáticos incluye: i) a la materia orgánica particulada gruesa (MOPG), hojas, troncos, flores y otros materiales en descomposición (hojarasca), y ii) a la Materia Orgánica Particulada Fina (MOPF), como material vegetal que ya ha sido descompuesto, cuya descomposición provee de iones al sistema (Cummins & Merrit, 1996).

La importancia de la entrada del detrito alóctono y su influencia en la estructura de la comunidad bentónica ha sido descrita en los trabajos de Vanotte y colaboradores (Vanotte, Minshall, Cummins, Sedell, & Cushing, 1980,). Es así como en el concepto de río continuo, la materia orgánica proveniente de la vegetación ribereña que es atrapada en zonas de rápidos, especialmente las hojas, es un recurso energético rápidamente explotado por las comunidades bentónicas (Roldán & Ramirez, 2000). Teniendo en cuenta lo anterior, la quebrada Arrayanales, recibe la materia orgánica particulada (MOP) proveniente de la vegetación riparia, con este estudio se espera generar una base metodológica y conceptual de una herramienta de evaluación de la función en este tipo de ecosistemas fluviales, con mediciones de parámetros funcionales, complementarios a las variables físicas, químicas y biológicas, utilizados tradicionalmente como criterios para evaluar el estado de conservación de sistemas fluviales. Es por ello que se ha planteó establecer cuál es la dinámica de materia orgánica particulada alóctona en la quebrada Arrayanales durante un periodo de seis meses que se logró con el desarrollo de los objetivos de este proyecto donde se propuso determinar la cantidad y la variación de las entradas laterales, verticales y el transporte de materia orgánica particulada alóctona (MOP) en un tramo de la quebrada alto andina “Arrayanales”, sobre el flanco occidental de la cordillera Central – Colombia, haciendo énfasis en el efecto de la variabilidad climática como magnitud de la precipitación y el caudal, sobre las entradas y el transporte de MOP. Las entradas verticales de MOP gruesa (MOPG vertical) y laterales de MOPG (MOPG lateral) y MOP fina (MOPF lateral) correspondientes a los seis meses de muestreo fueron tomadas como $g.m^{-1}$ de peso seco libre de cenizas (PSLC) respectivamente.

METODO

Área de estudio

La quebrada Arrayanales, está ubicada en el noreste del municipio de Popayán, sobre el flanco occidental de la cordillera Central, en el departamento del Cauca (Colombia). Hace parte de la subcuenca alta del río Las Piedras, las coordenadas de nacimiento y

desembocadura de la quebrada Arrayanales son: Longitud 02°41'71,45", Latitud 76°09'47",37 - Longitud 02°89'61,47", latitud 76°19'31",93, respectivamente. Limita al norte con la cuenca del río Palacé, al sur con las cuencas de los ríos San Francisco y Vinagre, al oriente con los cerros de Pusná y Cargachiquillo, y al occidente con el río Cauca. Abarca un total de aproximadamente 605.42 Ha, con un perímetro de cuenca de 70.02km (Recaman, 2006). La zona de estudio se encuentra a una altura aproximada de 2.600msnm. Los rangos promedio anual de temperatura, precipitación, humedad relativa, brillo solar, tensión de vapor y nubosidad son 18,4°C, 172,9mm, 84mm, 123 horas, 17,5 M bares y 5.8 horas (CRC, 2006) y se encuentra dentro del bosque pluvial montano alto (bp-MA) y corresponde a Selva Andina (Cuatrecasas, 1958). En cuanto a geomorfología, presenta relieve montañoso; en la parte alta y media presenta pendientes fuertes, largas y rectilíneas; en la parte baja hay pendientes suaves y cóncavas. Los suelos están formados principalmente por cenizas volcánicas; presentan textura media franco-arcillosa poco estructurada y bien drenados; poseen acidez baja con pH entre 5 y 5.9, saturación de aluminio y bajas cantidades de calcio, magnesio y fósforo; son suelos con buenas propiedades físicas y limitadas propiedades químicas que influyen negativamente en la fertilidad (Pozo, Elosegí, Díez, & Molinero, 2009).

Variables hidroclimáticas:

Las variables hidroclimáticas incluidas en el estudio fueron el caudal y la precipitación, datos que fueron tomados cada muestreo con un molinete y por la estación hidroclimática ubicada en la quebrada Arrayanales por la Fundación Pro-Cuenca río las Piedras.

Muestreo de Materia Orgánica Particulada:

Para lograr los objetivos propuestos se realizaron muestreos, sobre el cauce principal de la quebrada Arrayanales, de los aportes verticales, laterales de materia orgánica particulada alóctona y los aportes por deriva sobre el cauce, cada 30 días durante seis meses de muestreo (julio, agosto, septiembre octubre, noviembre y diciembre de 2012), durante 24 horas, en un tramo que tengan similares características geomorfológicas que comprendan zonas de rápidos y remansos (Gutiérrez, 2006). Las entradas laterales también consideradas como indirectas de material alóctono se muestrearon mediante ocho trampas laterales de malla con poro de 1mm ubicadas en pares a cada orilla de la quebrada, separadas 50m una de la otra, las trampas se anclaron mediante estacas, orientadas hacia al ambiente terrestre.

Para los aportes verticales se dispusieron ocho trampas de malla de 0,25m² de captación y malla de 1mm de poro, ubicadas en cada orilla de la quebrada, separadas 50m una trampa de la otra, se realizó distinción del material colectado como MOPG y MOPF, para lo cual se consideró como materia orgánica particulada gruesa con diámetro mayor a 1000 µm y fina como aquella con diámetro entre 1000 µm y 1 µm.

Para los aportes en el tramo muestreado por deriva se utilizó una estructura de filtración a través de un muestreo discreto de transporte de MOPG y MOPF utilizando tres redes

Surber (ojo de malla de 250 μ m), se dispuso una en cada sitio de muestreo, siguiendo la metodología propuesta por (Gutiérrez, 2006), (Rodríguez-Barrios, Ospina-Torres, & Gutiérrez, 2008), (Abelho & Graça, 1996), la trampa se colocó una dentro del cauce del río, se midió el caudal en la entrada de la trampa, y se dejaron las trampas instaladas para la colecta de fracciones de MOPF y MOPG durante 24 horas para cada muestreo.

Para el análisis de la información obtenida sobre los aportes de materia orgánica particulada, se calculó la homogeneidad de varianza y normalidad, por lo que se utilizó el programas estadístico SPSS 11.5, se realizó una ANOVA con un nivel de confianza del 95% ($p \leq 0.05$), y un análisis de coeficiente de correlación de Spearman (r_2).

RESULTADOS Y DISCUSION

VARIABLES CLIMÁTICAS CAUDAL Y PRECIPITACIÓN.

Los muestreos desarrollados durante M4 y M6 (Octubre y Diciembre 2012) mostraron un valor de precipitación promedio significativamente mayor en comparación con el período de bajas precipitaciones correspondiente a M1, M2, M3 y M5 (Julio, Agosto Septiembre y Noviembre 2012) (K-W=22.87, $p=0.0004$, $n=48$), aunque en términos generales se presentó un régimen de precipitación constante con valores bajos (Tabla 1).

Tabla 20 Caudal y precipitación reportados para cada mes de muestreo.

VARIABLE	MUESTREO											
	M1		M2		M3		M4		M5		M6	
	□	±SD	□	±SD	□	±SD	□	±SD	□	±SD	□	±SD
Caudal (l.s ⁻¹)	8,35	0,14	9,80	0,30	9,57	0,14	7,53	0,24	12,45	0,26	14,46	0,21
Precipitación (mm.d ⁻¹)	1,25	3,54	0,00	0,00	0,00	0,00	9,50	6,26	7,50	7,01	13,00	10,09

□: Promedio; ±SD: Desviación Estándar. Fuente: Fundación Pro-Cuenca Río las Piedras.

Se presentó una diferencia significativa entre el período de alto caudal correspondiente a M4 y M6 (valor promedio de 2.25 l.s⁻¹) y el período de bajo caudal (M1, M2, M3 y M6), que mostró un valor promedio de 1.69 l.s⁻¹ (K-W=44.77, $p=0000$, $n=48$), aunque en términos generales el régimen de descarga fue constante y de bajos valores.

ENTRADAS DE MOP.

Un aspecto importante de la ecología de ríos es evaluar la importancia relativa de los recursos alóctonos para la biota del río. Todos los niveles tróficos involucrados en las comunidades acuáticas, dependen de la explotación de los recursos disponibles, y de la eficiencia con que estos recursos son transformados en nueva biomasa (Fisher &

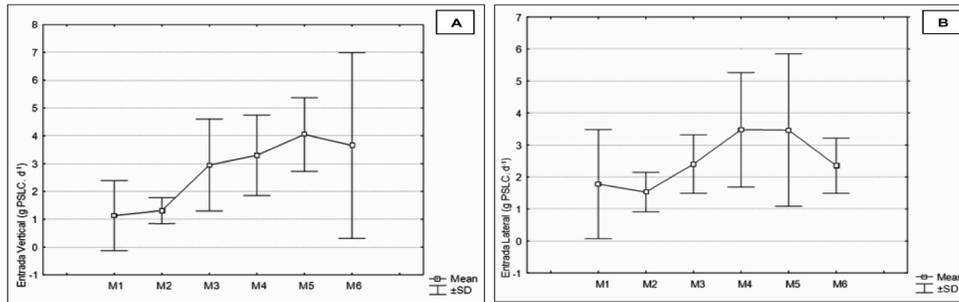
Likens, 1973). Ya que, la entrada de los detritos en ríos y arroyos, constituye una de las fuentes de carbono orgánico más importante para las comunidades acuáticas (Roldán & Ramirez, 2000), (Mcclain & Richey, 1996), teniendo en cuenta que la hojarasca representa el componente principal de entrada en la Quebrada.

Las cantidades de MOPTG vertical y MOPTG lateral correspondiente al tiempo de muestreo fueron 574.87 g PSLC m⁻² y 256.23 g PSLC m⁻² respectivamente, con valores promedio de entradas por muestreo de 1.57 g PSLC m⁻², y 0.70 g PSLC m⁻² respectivamente. La entrada de MOPG vertical para el período de baja precipitación fue de 0.78 (±0.33) g PSLC m⁻² d⁻¹ y para el período de lluvias fue de 1.59 (±0.89) g PSLC m⁻² d⁻¹. La cantidad promedio de MOPG lateral para el período de baja precipitación fue de 0.57 (±0.32) g PSLC m⁻² d⁻¹ y para el período de lluvias fue de 0.54 (±0.16) g PSLC m⁻² d⁻¹.

En cuanto a las entradas de MOPG vertical mostraron su mayor registro en M6 con un valor de 2.22 g PSLC m⁻² d⁻¹ y una diferencia altamente significativa en estos aportes con respecto al resto de muestreos que correspondieron a menores intensidades de precipitación (K-W=23.91, p=0.0002, n=48). En términos descriptivos, la Figura 1a muestra que el pico máximo de entrada de esta materia se presentó en M6, correspondiente al período de mayor intensidad de la precipitación, la asociación entre éstas es significativa ($r_s = 0.29$, p=0.04, n=48). Para el período de Agosto se muestra una tendencia al incremento en la MOPG vertical como sucede con las otras entradas de MOP. Las entradas de MOP laterales presentaron su mayor valor en M5 (0.97 g PSLC m⁻² d⁻¹) mostrando diferencias significativas con los otros muestreos y con la intensidad de la precipitación (K-W=13.68, p=0.017, n=48).

No se presentaron diferencias entre los incrementos de estos aportes alóctonos de MOPG y la intensidad de la precipitación, lo cual es sustentado por una correlación no significativa ($r_s = 0.14$, p=0.33, n=48). En términos generales, en la Quebrada Arrayanales, se presentaron picos de incremento en los aportes de MOP vertical y lateral en los meses de septiembre y diciembre, correspondiente a M3 y M6, generados por umbrales de precipitación. Estos registros guardan relación con estudios desarrollados en el trópico con un patrón similar (Rodríguez-Barrios, Ospina, & Turizo, 2011), (León & Quiroga, 1987). Se destacan los trabajos desarrollados en la Ciudad de Bogotá por (Rodríguez-Barrios, Ospina-Torres, & Gutiérrez, 2008), (León & Quiroga, 1987), (Arenas, 1988), (Hernández, 1994), (Vargas, 2003), quienes encontraron una asociación entre la producción de hojarasca en términos de peso seco con la precipitación para la Quebrada La Vieja (Bogotá).

Figura 32 Entradas de MOP en términos de gramos de peso seco libre de cenizas por día (g PSLC.d⁻¹) durante los meses de muestreo (A. Entradas Vertical; B. Entrada Lateral).



Comparando este estudio con los trabajos que se han realizado en Colombia (Tabla 2) se encuentran que los mayores aportes están representados por los aportes verticales de MOPG como aporte vertical que lateral a excepción de lo reportado en el río Gaira (Santa Marta) donde se presentó un mayor aporte lateral debido que la zona de muestreo se vio afectada por precipitaciones constantes; este estudio presentó similares aportes a los evidenciados en la quebrada la Vieja (Bogotá), con cambios en los aportes debidas a la variabilidad y cambio climático en la zona. Y teniendo en cuenta que la variación temporal en los aportes de MOPG alóctona se ha descrito a escala de paisaje (Naiman, 1982), (Negishi & Richardson, 2003) debido a la variabilidad de los parches o mosaicos que forman la vegetación riparia, la fenología de la vegetación y el efecto de las lluvias y la sequía (Larned, 2000). En el presente estudio se pudo encontrar que el aporte de materiales fue más o menos constante durante los seis meses de muestreo, aunque la MOPG vertical se incrementó en período de lluvias y se puede deducir que existen diferencias en las cantidades de los aportes de MOP para eventos de alta y baja precipitación. Además se presentan umbrales de precipitación que se traducen en incrementos significativos de MOPG vertical.

Tabla 21 Estudios realizados en Colombia.

*MOPG		Lugar
Vertical	Lateral	
**1300 g.m ⁻² año ⁻¹		Quebrada La Vieja (Bogotá) [20]
**920 g.m ⁻² año ⁻¹		Robledales y Bosque Altoandino de la Sabana de Bogotá [17]
450.8 g.m ⁻²	191 g.m ⁻²	Quebrada la Vieja (Bogotá) [18]
718.3 g.m ⁻²	2197.4 g.m ⁻²	Río Gaira (Santa Marta) [16]
574.87 g.m ⁻²	256.23 g.m ⁻²	Quebrada Arrayanales (Cauca) [Presente estudio]

*Valor expresado como Peso Seco Libre de Cenizas (PSLC).

**No es específico si el aporte es de origen vertical u horizontal.

Dado que estos aportes de material alóctono como MOPG juegan un papel relevante en términos de energía para comunidades acuáticas, como sucede en épocas de primavera en regiones holárticas, donde existe una mayor proporción de flores que caen al lecho de las Quebradas, las cuales ofrecen un mayor aporte energético a comunidades bióticas en comparación con las hojas (Jutras, y otros, 2011) y palizadas

(Webster, Moore, Losching, & Leban, 1999); en los estudios realizados en Colombia, los aportes de la vegetación riparia encontraron valores máximos de MOPG por la caída de hojarasca en relación con el período de lluvias, con *Clusia multiflora*, *Vaccinium sp.* y *Weinmania tomentosa* como las especies dominantes en el aporte de MOPG al mantillo del suelo ripario (Rodríguez-Barrios, Ospina-Torres, & Gutiérrez, 2008), (Rodríguez-Barrios, Ospina, & Turizo, 2011); debido a que las entradas de hojas de los árboles riparios son, por lo general, la mayor fuente de energía para los organismos heterotróficos (Webster, Moore, Losching, & Leban, 1999).

En la quebrada Arrayanales se presentó un aporte relevante en la producción alóctona por el bosque ripario, en especial de la fracción gruesa (hojarasca, semillas, flores, y pequeños troncos) de las familias de Melostomataceae, Fagaceae, Polygonaceae y Asteraceae, siendo las especies vegetales riparias más abundantes en el tramo estudiado: *Coraria Ruscifolia*, *Rubus adenotrichos*, *Desmodium adscendens*, *Erato vulcanica*, *Bidens sp.*, *Chromalaena odorata*, *Piper lacunosum*, *Danthonia secundiflora*, *Bomarea sp.*, *Croscomia x crocosmiflora*, *Cleome arborea*, *Palicourea abgustifolia*, *Solanum ovalifolium*, *Wedelia sp.*, *Ageratia tinifolia*, *Plantago sp.*, *Euphorbia laurifolia*, *Meriania splendens*, *Tibouchina mollis*, *Salvia scutellarioides*, *Oxalis sp.*, *Equisetum bogotensis*, *Psammisia graebneriana*

Con lo anterior, el incremento de MOP en la Quebrada presenta un patrón similar reportado en los trabajos de (León & Quiroga, 1987), (Arenas, 1988), (Hernández, 1994), (Webster, Moore, Losching, & Leban, 1999) en donde los incrementos en la MOP alóctona tiene una relación significativa con eventos hidroclimáticos extremos como las tormentas sobre Quebradas de Norteamérica. Otros trabajos que demuestran como la interacción bosque-río en las cabeceras de las montañas se da por la relación directa entre la densidad del bosque ripario y el efecto o cambio hidroclimático (Rodríguez-Barrios, Ospina-Torres, & Gutiérrez, 2008). Entonces, en la Quebrada Arrayanales los cambios en el caudal se producen como respuesta a la variabilidad y cambio climático como los incrementos en la intensidad de la precipitación, mientras que la respuesta en las entradas y el transporte de MOP en la Quebrada Arrayanales, son el reflejo de un sistema conservado que presenta una buena cobertura vegetal riparia.

Transporte de MOP.

El transporte promedio de MOPG, MOPF y MOP total (MOPT= MOPG+MOPF) en el tramo de estudio fue de 37.83 g m^{-3} , 32.88 g m^{-3} y 4.94 gm^{-3} respectivamente. Los valores de pérdidas por transporte de MOPF para el período de bajo caudal fue de $4.36 (\pm 0.71) \text{ g m}^{-3}$ y para el período alto caudal fue $5.71 (\pm 2.59) \text{ g m}^{-3}$. La cantidad promedio de MOPG transportada aguas abajo para el período de bajos caudales fue de $30.56 (\pm 3.23) \text{ g m}^{-3}$ y para el período de altas precipitaciones fue de $37.54 (\pm 3.03) \text{ g m}^{-3}$. Finalmente los valores encontrados para la MOPT, correspondientes a la sumatoria de la MOPG y la MOPF transportada durante el período de sequía fue de $34.93 (\pm 6.21) \text{ g m}^{-3}$, y para el período de lluvias fue de $43.66 (\pm 3.43) \text{ g m}^{-3}$. (Tabla 3).

Tabla 22 Cantidad de MOP reportada para cada mes de muestreo.

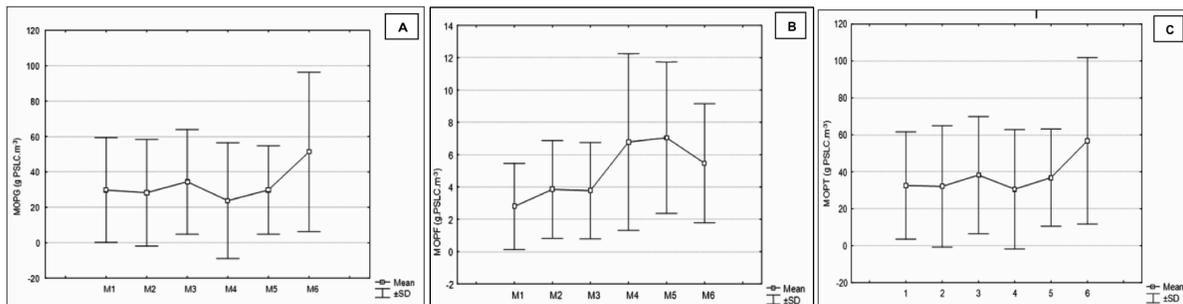
Transporte	Unidad	Muestreo					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
MOPF	g PSLC.m ⁻³	2,79	3,85	3,77	6,78	7,05	5,47
MOPG	g PSLC.m ⁻³	29,78	28,24	34,44	23,78	29,80	51,31
MOPT	g PSLC.m ⁻³	32,56	32,09	38,21	30,55	36,85	56,77

La MOPG transportada presentó el mayor registro con un valor promedio de 140.5 g PSLC m⁻³, simultáneo al período de mayor precipitación correspondiente al mes de diciembre (M6); este incremento se debe al aumento del caudal. No se presentó una variación en el transporte de MOPG en relación con el resto de muestreos representados por una regular intensidad del caudal (K-W= 5.18, p=0.39, n=48). La asociación entre el caudal y el transporte de MOPG, fue muy baja y poco significativa ($r_s= 0.25$, p=0.07, n=48). Cabe resaltar que la menor cantidad de MOPG transportada se presentó durante los muestreos M1, M2, M4 y M5 (Figura 2a).

Se presentó un valor máximo de 15.36 g PSLCm⁻³ en el mes de noviembre (M5), correspondiente al período de bajo caudal, aunque su incremento fue más prolongado que lo mostrado por la MOPG, ya que permaneció desde M3 hasta M5 (Figura 2b). No se presentaron diferencias en estos aportes de MOPF con respecto al resto de muestreos correspondientes a bajos caudales (K-W= 5.88, p=0.31, n=48). La asociación entre esta variable y la magnitud del caudal fue muy alta ($r_s= 0.14$, p=0.34, n=48), debido a los datos se presentaron valores casi constantes.

Las pérdidas totales de MOP fueron expresadas en términos de la MOPT transportada aguas abajo (MOPG+MOPF). Se presentó una alta asociación entre la MOPT y el transporte de MOPF ($r_s= 0.35$, p=0.01, n=48) pero fue mayor la correlación entre MOPT y el transporte de MOPG ($r_s= 0.90$, p=0.00, n=48) debido a que la MOPG aportó casi la totalidad de la MOP en deriva (MOPT). De acuerdo a los resultados obtenidos, no se presentaron diferencias estadísticas en la cantidad de MOPT transportada en el tramo a escala temporal.

Figura 33 Transporte de MOP en términos de gramos de peso seco libre de cenizas por día (g PSLC.m^{-3}) durante los meses de muestreo (A. MOPG; B. MOPF; C. MOPT).



La MOPG aportó en su mayoría la totalidad de la materia orgánica particulada total comparando con el aporte de la MOPF que fue menor; Según (Anderson & Sedell, 1979), tramos de cabecera presentan una relación MOPG/MOPF >1 . Es muy probable que grandes cantidades de MOPG sean retenidas por el lecho de la Quebrada, a diferencia de la MOPF, la cual tiende a ser movilizada aguas abajo en mayores cantidades, como sucedió en el tramo de la Quebrada Arrayanales. El aporte de MOPF encontrado, pudo presentarse un barrido masivo de MOP por efecto de los caudales durante el periodo de muestreo, encontrando que los aportes más bajos de MOP gruesa y fina se presentaron en M1, M2 y M3, y para los periodos donde se presentaron las mayores precipitaciones M4, M5 y M6 se presentaron los mayores aportes de MOP. Esto se sustenta como una relación altamente positiva, entre la descarga y el transporte de MOPT. (Rodríguez-Barrios, Ospina-Torres, & Gutiérrez, 2008) encontraron en quebradas en la Quebrada la Vieja, el exporte de MOP estuvo relacionado con patrones de descarga, particularmente relacionados con periodos de lluvias posteriores a periodos de baja precipitación.

Relación MOPG/MOPF transportada

La heterogeneidad que presentó el tramo de la Quebrada Arrayanales (debido a las características geomorfológicas del cauce como la presencia de parches de palizadas, piedras de grande tamaño, presencia de rápidos y remansos) pudo haber influenciado para la poca movilidad de la MOPT. (Naiman, 1982) mencionan que estos factores son relevantes en la dinámica de las entradas, retención y pérdidas por transporte de MOP en quebradas (Rodríguez-Barrios, Ospina-Torres, & Gutiérrez, 2008).

El balance de entradas y salida de MOPG/MOPF en la Quebrada, demuestra un dominio en las entradas y retención de MOPG, que también dominó en las salidas o pérdidas por transporte aguas abajo. Este balance de materiales se destaca si se quieren desarrollar aproximaciones en cuanto al flujo de MOP en la interacción bosque-río (Allan, 1999), estudios aplicativos en restauración de quebradas de cabecera, efecto hidroclimático en la dinámica de la MOP y comparaciones con teorías desarrolladas en sistemas lóticos (Vannote, Minshall, Cummins, Sedell, & Cushing, 1980,), y los cambios que ocurren a nivel de la vegetación ribereña van a afectar significativamente la estructura y funcionamiento de las comunidades de los macroinvertebrados bentónicos,

ya que no solo la utilizan como fuente de energía sino también como refugio o para la construcción de sus habitáculos (Allan, 1999).

CONCLUSIONES

La dinámica del material orgánico que ingresó, se almacenó y se transportó, se caracterizó por una alta variabilidad temporal a lo largo del tramo de la Quebrada Arrayanales durante los meses de muestreo, en donde se pudo apreciar mediante el coeficiente de variación del almacenamiento, entradas y transporte de MOP, explicado por la distribución de la vegetación riparia y las acumulaciones de material orgánico en el canal, así como por la variabilidad temporal del transporte de estos materiales a causa de los cambios hidroclimáticos, basados en la correlación entre los aportes laterales, verticales y los aumentos de precipitación y caudal.

Se observó una marcada tendencia a la homogeneidad en el caudal, lo cual está relacionado con el régimen de precipitaciones. Esta poca variación en el caudal tiende a producir una mínima variación en la distribución espacial de los substratos, de tal forma que las variaciones en la cobertura vegetal, es controlada por aportes alóctonos puntuales. En cuanto a la correlación entre la materia orgánica y las variables hidroclimáticas en la Quebrada Arrayanales se encontró, en donde las entradas verticales y laterales se incrementaron al inicio de la época de altas precipitaciones por lo tanto de caudales, de igual forma el transporte de MOP.

El transporte de la materia orgánica particulada, la gruesa fue la que aportó en mayor proporción al porcentaje de materia orgánica total, mientras que el transporte de la fracción fina mantuvo un comportamiento más estable durante el periodo de muestreo y el balance de entradas y salida de MOPG/MOPF en la Quebrada, mostró un dominio en las entradas y transporte de MOPG, este balance de materiales se destaca ya que los aportes y cambios que ocurren a nivel de la vegetación riparia que pueden llegar a afectar significativamente la estructura y funcionamiento de las comunidades bentónicas, ya que no solo utilizan la MOP como fuente de energía sino también como refugio o para la construcción de su hábitat.

La variabilidad y cambio climático genera entre otros efectos en la precipitación y caudal en la Quebrada Arrayanales que incrementa las concentraciones de nutrientes y la calidad del agua, que requiere continuar con investigaciones al respecto, ya que son escasas hasta ahora en ecosistemas altoandinos. Actualmente, ya se conoce que la capacidad de retención de nutrientes y la autodepuración disminuyen con el caudal en ríos en condiciones naturales no obstante, quedan muchos aspectos por discernir sobre la interacción entre caudal, temperatura, carga de nutrientes y usos del territorio en las cuencas hidrográficas hasta obtener una parametrización que permita aplicaciones y predicciones.

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos a COLCIENCIAS por la financiación del Proyecto “Influencia de uso del suelo sobre una comunidad de Amphipodos en un ecosistema Altoandino, río las Piedras- Cauca” (Convocatoria 525/2011-2012 – ID3424) en el marco del programa de Jóvenes Investigadores e Innovadores, a la Vicerrectoría de Investigaciones de La Universidad del Cauca y a la Fundación Pro-Cuenca río Las Piedras por el apoyo para la realización del presente trabajo. Igualmente, manifestamos nuestro agradecimiento a los revisores anónimos por sus sugerencias y comentarios.

BIBLIOGRAFIA

- Abelho, M., & Graça, M. (1996). Effects of eucalyptus afforestation on leaf litter dynamics and macroinvertebrate community structure of streams in Central Portugal. En *Hydrobiologia* 324(3) (págs. 195-204.).
- Allan, D. (1999). Stream Ecology: structure and function of running waters. Kluwer Academic Publishers.
- Anderson, N. H., & Sedell, J. R. (1979). Detritus Processing by Macroinvertebrates in Stream Ecosystems. *Annual Review of Entomology* 24(1), 351-377.
- Arenas, H. (1988). Producción y descomposición de hojarasca en un bosque nativo y un bosque de Eucaliptus en la región de Monserrate. . En *Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación*. (pág. 112.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Bióloga.
- Bianchi, T. S., Wysocki, L. A., Stewart, M., Filley, T. R., & A., M. B. (s.f.). Temporal variability in terrestrially-derived sources of particulate organic carbon in the lower Mississippi River and its upper tributaries. . *Geochimica et Cosmochimica Acta*, (págs. 71(18), 200).
- Carpenter, S., Fisher, S., Grimm, N., & Kitchell, J. (1992). Global change and freshwater ecosystems. *Annual Review of Ecology and systematics*. 23, 119-139.
- Catalán, J., Plas, Rieradevall, M., Felip, M., Venturam, Buchacat, y otros. (2002). Lake redo ecosystem response to an increasing warming in the Pyrennees during twentieth century. *Journal of Paleolimnology*. 28, 129-145.
- CRC. (2006). Plan de ordenación y manejo de la subcuenca hidrográfica del río Las Piedras. 457. Cauca. Popayán: Corporación autónoma regional del Cauca.
- Cuatrecasas, J. (1958). Aspectos de la vegetación natural de Colombia. academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales .

- Cummins, K. W., & Klug, M. J. (1979). Feeding Ecology of Stream Invertebrates. *Annual Review of Ecology and Systematics* 10(1), 147-172.
- Cummins, K., & Merrit, R. W. (1996). Ecology and Distribution of Aquatic Insects,. 88. Iowa: Kendall-Hunt. Dubuque.
- Fisher, S. G., & Likens, G. E. (1973). Energy Flow in Bear Brook, New Hampshire: An Integrative Approach to Stream Ecosystem Metabolism. En *Ecological Monographs* 43(4) (págs. 421-439.).
- Gutiérrez, J. D. (2006). Caracterización del metabolismo y de la oferta de recursos de materia orgánica para la fauna de macroinvertebrados bentónicos en una quebrada de montaña de orden menor. En *Facultad de Ciencias* (pág. 60). Bogotá D.C: Universidad Nacional de Colombia. Ph D.
- Hernández, M. L. (1994). Estimación de la productividad primaria de *Espeletia grandiflora* H & B y *Pinus patula* Schl & Cham en el páramo “el Granizo”, Cundinamarca Colombia. Bogotá, DC: Universidad Nacional de Colombia Biología.
- Jutras, M.-F., Nasr, M., Castonguay, M., PIT, C., Pomeroy, J. H., Smith, T. P., y otros. (2011). Dissolved organic carbon concentrations and fluxes in forest catchments and streams: DOC-3 model. En *Ecological Modeling* 222(14) (págs. 2291-2313.).
- Larned, S. T. (2000). Dynamics of coarse riparian detritus in a Hawaiian stream ecosystem: a comparison of drought and post-drought conditions. *Journal of the North American Benthological Society* 19(2), 215-234.
- León, M., & Quiroga, R. (1987). Producción de materia orgánica en dos bosques circundantes a la Sabana de Bogotá. En *Facultad de Ciencias Exactas y de la Educación*. (pág. 78.). Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Biólogo.
- Mcclain, M. E., & Richey, J. E. (1996). Regional-scale linkages of terrestrial and lotic ecosystems in the Amazon basin: a conceptual model for organic matter. En *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 113, (pág. 4).
- Naiman, R. J. (1982). Characteristics of Sediment and Organic Carbon Export from Pristine Boreal Forest Watersheds. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 39(12), 1699-1718.
- Negishi, J. N., & Richardson, J. S. (2003). Responses of organic matter and macroinvertebrates to placements of boulder clusters in a small stream of southwestern British Columbia, Canada. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 60(3), 247-258.
- Pozo, J., Elozegi, A., Diez, J., & Molinero, J. (2009). Dinámica y relevancia de la materia orgánica. En S. S. A. Elozegi (Ed.), *Conceptos y técnicas en ecología fluvial*. (págs. 141-148). Barcelona,: Fundación BBVA.
- Prat, N. (1995). El agua en los ecosistemas. *El campo*. 132, 24-48.

- Recaman, L. (2006). Estudio de oferta y demanda del río Las Piedras. En *Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación*. (pág. 104). Popayán: Universidad del Cauca. Maestría en Recursos Hidrobiológicos. , p .
- Rodríguez-Barrios, J., Ospina, R., & Turizo, R. (2011). Grupos funcionales alimentarios de macroinvertebrados acuáticos en el río Gaira, Colombia. *Rev. Bio. Trop* 59(4), 1537-1552.
- Rodríguez-Barrios, J., Ospina-Torres, R., & Gutiérrez, J. D. (2008). Entradas y transporte de materia orgánica en una quebrada tropical de montaña. En *Caldasia* 30 (págs. 421-440.). Bogotá, Colombia.
- Roldán, G., & Ramirez, J. J. (2000). Fundamentos de Limnología. Antioquia: Editorial Universidad de Antioquia.
- Shindler, D. (2001). widespread effects of climate warming and other human stresses on Canadian freshwaters in the new millennium. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 58, 18-29 .
- Vannote, R., Minshall, G., Cummins, K., Sedell, J., & Cushing, C. (1980,). The River Continuum Concept. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 37,130-137.
- Vargas, J. P. (2003). Análisis de un bosque Altoandino con énfasis en la precipitación del mantillo: Qubrada La Vieja. Bogotá. 25. Universidad Nacional de Colombia. .
- Webster, P. J., Moore, A., Losching, J., & Leban, M. (1999). Couple ocean dynamics in the Indian Ocean during 1997-1998. En *Nature* 401, (págs. 356-360.).