

CIO

INFORME FINAL

PROYECTO DE INVESTIGACION

EN SOCIO-AMBIENTAL DEL RIESGO DE INUNDACION
EN LA QUEBRADA ESTERO, SAN RAMON, COSTA RICA

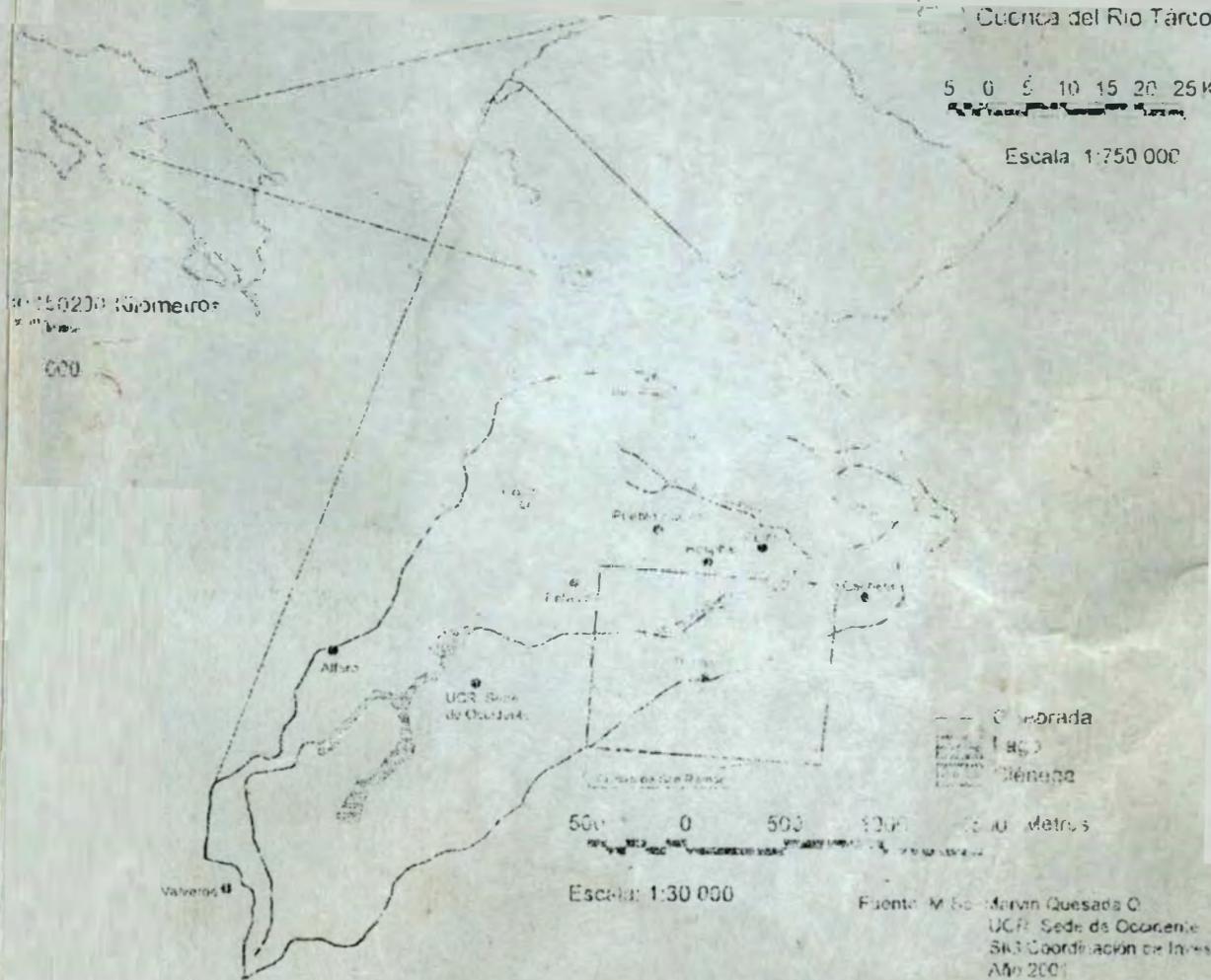
333.73
Q5e

Nº 540-401-098

Microcuenca Quebrada Estero
Cuenca del Rio Tárcoles

5 0 5 10 15 20 25 Kilómetros

Escala: 1:750 000



**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SEDE DE OCCIDENTE
CIUDAD UNIVERSITARIA CARLOS MONGE A.**

**INFORME FINAL
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“EVALUACIÓN SOCIO-AMBIENTAL DE LA
MICROCUENCA QUEBRADA ESTERO, SAN RAMON,
COSTA RICA”**

Realizó
MARVIN QUESADA Q.

2000-2001



BIBLIOTECA OCCIDENTE - UCR



0132890

INDICE DE CONTENIDOS

Pág.

Indice de contenidos	
Lista de cuadros	1
Lista de figuras	iv
Lista de fotografías	v
Informe Final	1
1. Antecedentes	1
1.1. Objetivos del proyecto	1
1.2. Duración del proyecto	1
1.3. Investigadores y carga académica	2
2. Labores efectuadas	2
2.1. Actividades realizadas	2
2.2. Gastos y plazos reales	4
3. Procedimientos utilizados	4
3.1. Métodos	4
3.2. Dificultades	7
4. Resultados	8
4.1. Logros relevantes	8
4.2. Publicaciones y presentaciones	11
4.3. Observaciones	12
Capítulo I: Antecedentes relacionados con inundaciones	14
1.1. Ubicación geográfica de la microcuenca e implicaciones	14
1.2 Eventos relacionados con las inundaciones	17
Capítulo II: Evaluación socio espacial	26
2.1. Breve historia sobre el origen del poblamiento de la microcuenca	26
2.2. Evolución demográfica	28
2.3. Evolución del uso de la tierra	29
2.4. Distribución espacial del uso de la tierra	35
Capítulo III: Evaluación ambiental	42
3.1. Condiciones geomorfodinámicas	42
3.2. Análisis topográfico	42
3.3. Condiciones geológicas y geomorfológicas	46
3.3.1. Formación Aguacate	48
3.3.2. Antiguas áreas lacustres	49
3.4. Condiciones edáficas	52
3.5. Condiciones climáticas	54
3.6. Condiciones de la red de drenaje	57

Capítulo IV: Evaluación del riesgo de inundaciones	59
4.1. Factores meteorológicos	59
4.2. Factores hidrológicos, geomorfológicos y edáficos	60
4.3. Características socioeconómicas	64
4.4. Impermeabilización del suelo por la expansión urbana	67
4.5. Construcciones sobre el cauce y en sus márgenes	68
4.6. Canalizaciones y alcantarillados insuficientes	69
4.7. Delimitación espacial de las áreas inundables	71
4.8. Sectores socioeconómicos afectados	73
Referencias Bibliográficas	75
Anexos	79
1. Lista de Actas Municipales revisadas desde 1900 hasta el 2000, San Ramón.	
2. Guía de entrevista a ciudadanos mayores de cincuenta años acerca de inundaciones, en San Ramón.	
3. Participantes en las presentaciones del proyecto de investigación a la comunidad.	
4. Programas radiales sobre la temática transmitidos en Radio Sideral.	
5. Gestiones en torno a la adquisición de datos de precipitación.	
6. Publicaciones del investigador relacionadas con la temática en estudio.	

LISTA DE CUADROS

	<u>Pág.</u>
Cuadro 1: Desbordamientos de la quebrada Estero, San Ramón del año 1900 al 2000	24
Cuadro 2: Evaluación demográfica por distritos en la microcuenca Estero San Ramón	28
Cuadro 3: Uso de la tierra: microcuenca Estero, durante las últimas tres décadas (hectáreas)	32
Cuadro 4: Porcentajes en el uso de la tierra: microcuenca Estero, durante las últimas tres décadas	33
Cuadro 5: Porcentajes de cambio en el uso de la tierra: microcuenca Estero 1979 - 1989	34
Cuadro 6: Porcentajes de cambio en el uso de la tierra: microcuenca Estero 1989 y 1999	34
Cuadro 7: Porcentaje de cambio en el uso de la tierra: microcuenca Estero 1979 – 1999	35
Cuadro 8: Características topográficas de la microcuenca Estero	44

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1: Microcuenca Quebrada Estero en referencia al Río Tárcoles	16
Figura 2: Uso de la tierra año 1979, microcuenca Quebrada Estero	36
Figura 3: Uso de la tierra año 1989, microcuenca Quebrada Estero	38
Figura 4: Uso de la tierra año 1999, microcuenca Quebrada Estero	40
Figura 5: Elevaciones de matiz microcuenca Quebrada Estero, San Ramón	43
Figura 6: Perfil longitudinal del canal principal de la Quebrada Estero	45
Figura 7: Mapa: Geológica de la microcuenca Quebrada Estero, San Ramón	47
Figura 8: Mapa: geomorfológico de la microcuenca Quebrada Estero, San Ramón	50
Figura 9: Mapa: Suelos de la microcuenca Quebrada Estero, San Ramón	53
Figura 10: Gráfico de precipitación promedio mensual, Estación San Ramón	56
Figura 11: Área de inundación microcuenca Quebrada Estero, San Ramón	72

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

	<u>Pág.</u>
Foto N° 1: Inundación de la parada municipal de San Ramón. (C. 1950)	20
Foto N° 2: Destrozos provocados por el huracán Fifi en viviendas ubicadas cerca de la Quebrada Estero, San Ramón en 1974	21
Foto N° 3: Vista de un hundimiento de tierra producto del huracán Fifi en 1974	22
Foto N° 4: La capacidad hidráulica del cauce del Estero, al llegar a la planicie ocasiona desbordamientos en sus márgenes	61
Foto N° 5: Las precipitaciones persistentes por varios días inundan gran parte de la planicie	62
Foto N° 6: Algunos sectores aún sin urbanizar tienen suelos arcillosos, favoreciendo así los encharcamientos	63
Foto N° 7: Áreas inclinadas bajo bosque han sido eliminadas para construir Residencias	66
Foto N° 8: Los residenciales descargan aguas residuales provenientes de pilas, baños, sanitarios, entre otros; en la quebrada	70

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SEDE DE OCCIDENTE
COORDINACION DE INVESTIGACION**

**INFORME FINAL
PROYECTO DE INVESTIGACION
EVALUACION SOCIO-AMBIENTAL DEL RIESGO DE INUNDACION
MICROCUENCA QUEBRADA ESTERO, SAN RAMON, COSTA RICA
N° 540-A0-098**

1. ANTECEDENTES

1.1. Objetivos del Proyecto

Este proyecto de investigación propuso un objetivo general que consistió en evaluar las condiciones ambientales y sociales que tienen relación con las inundaciones en la microcuenca Estero. Esto con el fin de determinar las causas de las inundaciones y las áreas que son inundadas. Por consiguiente, se formularon los siguientes objetivos específicos:

1. Investigar el número de inundaciones que se han registrado en la microcuenca El Estero.
2. Determinar los principales agentes causantes de las inundaciones en la microcuenca.
3. Zonificar la microcuenca para definir áreas inundadas y las que inducen a inundaciones.
4. Priorizar los sectores socioeconómicos que se han visto afectados por los desbordamientos de la quebrada.
5. Contactar líderes comunales para exponerles la problemática de la quebrada Estero.

1.2. Duración del Proyecto

El proyecto se programó para realizarse en un periodo de veinticuatro meses, para ser iniciado en enero del año 2000 y para concluirse en diciembre del año 2001. Sin embargo, dicho proyecto no dio inicio hasta mayo del 2000, dado que este no contaba con jornada laboral y no es hasta que el director de la Sede de Occidente Lic. Eval Araya y la Coordinadora de Investigación M.Sc. Saray Córdoba lograron asignarle contenido presupuestario para una jornada de un cuarto de tiempo para el investigador principal.

1.3. Investigadores y carga académica

El proyecto fue dirigido y realizado por un investigador principal, quien es actualmente docente con categoría de instructor-interino de la Sede de Occidente M.Sc. Marvin Quesada Q., con una jornada de un cuarto de tiempo.

Con los fondos suministrados por la Vicerrectoría de Investigación se asignaron tres asistentes, las cuales desempeñaron cargos en diferentes momentos durante el proyecto. Ellas son las señoritas: María Luz Chaves González, Doren Vega Salas y Marcela Alpízar Esquivel, quienes contribuyeron en forma excelente con las diferentes labores que se les encomendó.

2. LABORES EFECTUADAS

2.1. Actividades realizadas

En este informe final no se incluyen las actividades realizadas durante el primer año (2000), dado que ya se mencionaron en el Primer Informe presentado en diciembre del 2000. Durante el año 2001 se procedió a complementar los objetivos inconclusos y a llevar a cabo los restantes. De esta manera se realizaron las siguientes actividades:

a) Revisión de Actas Municipales y otras referencias:

Se continúo con la recolección de información en algunas bibliotecas, así como en bases de datos que no se habían consultado o que no se habían terminado de revisar. Se continúo con la revisión de las actas municipales, la cual abarcó desde el año 1900 hasta el 2000 (Anexo N°1).

b) Cartografía y Fotointerpretación:

De la misma forma, se procedió a continuar con la fotointerpretación sobre el uso de la tierra para las dos décadas restantes en análisis, de 1979 a 1989 y de 1989 a 1999. Una vez realizada la fotointerpretación para los tres periodos en estudio, se hizo una comprobación al campo por medio de cinco recorridos por los diversos sectores de la microcuenca. Posteriormente, se inició la labor de cartografiar y mapear la información utilizando el Sistema de Información Geográfica Arc View 3.2, que se encuentra en la Coordinación de Investigación de la Sede de Occidente.

Se hizo una búsqueda exhaustiva de material cartográfico y documental sobre aspectos biofísicos existentes en la microcuenca. En aquellos casos que el material no fue posible adquirirlo, se tuvo que obtener la información directamente del campo mediante los diferentes recorridos.

c) Salidas al Campo:

Para recopilar dicha información se tuvo que realizar siete salidas de campo, obteniéndose aspectos muy valiosos sobre tipos de suelos, geología, topografía y la red de drenaje.

Igualmente, se realizaron cinco visitas con el fin de determinar las causas de las inundaciones y sobre todo para zonificar las áreas que han sido afectadas por las inundaciones. En estos recorridos se observaron condiciones como

impermeabilización de los suelos, las construcciones sobre el cauce y sus márgenes, las canalizaciones y el alcantarillado.

d) Divulgación:

En materia de divulgación de los resultados se hizo un mural explicativo del proyecto que se presentó en abril del 2001 en el Museo de San Ramón como parte de una presentación de proyectos de investigación que estuvo a cargo de la Coordinación de Investigación de la Sede de Occidente. Asimismo, se hizo impartió una conferencia sobre el proyecto en el Museo de San Ramón como parte de las actividades de investigación, la cual fue organizada durante la Semana Universitaria en abril del año 2001.

Se participó en cuatro oportunidades en el programa de la emisora Radio Sideral titulado "Dialogo abierto con el pueblo, la Universidad responde", donde se expuso ampliamente la situación de las inundaciones en San Ramón.

De la misma forma, se procedió a divulgar el proyecto en la comunidad ramonense. Para ello se impartieron dos charlas. Primeramente, se escogió el barrio el Porvenir que ha sido uno de los más afectados en los últimos años por las inundaciones. Igualmente, se impartió otra charla ante el Concejo de la Municipalidad de San Ramón.

2.2. Gastos y plazos reales

Para la realización del proyecto se utilizaron todos los fondos brindados por la Vicerrectoría de Investigación para ambos periodos (años 2000 y 2001) y se contó con veinte meses para su realización. Se llevó a cabo el cronograma propuesto, aunque no se cumplió en forma sistemática, dado que no se dispuso en ciertos casos de la información requerida o algunas actividades tomaron más tiempo que del estipulado.

Se tuvo que afrontar algunos gastos en forma personal, como es el caso de los pagos de viáticos a San José en doce oportunidades para realizar fotointerpretaciones, cartografía y mapeos. Igualmente, se adquirieron materiales como fotografías aéreas, mapas, photocopias, pagos de gasolina para realizar las salidas al campo.

3. PROCEDIMIENTOS UTILIZADOS

3.1. Métodos

La estrategia metodológica empleada se basó especialmente en métodos cualitativos por el hecho de ser una investigación que pretendía hacer una evaluación de los factores socio-ambientales influyentes en las inundaciones de la quebrada Estero. Aunque también se utilizaron otros métodos como son los cartográficos y cuantitativos que son precisamente los que al final sirvieron para demostrar las implicaciones ambientales y sociales ocurridos a raíz de las inundaciones.

Dentro de las principales técnicas empleadas se encuentran: la recolección de información por medio de la consulta documental, bibliográfica, cartográfica, fotointerpretación, mapeo, cálculo de áreas, encuestas, entrevistas con informantes claves, trabajo de campo y la exposición de los resultados a la comunidad.

La información documental fue esencial para determinar el grado de conocimiento e interés por las inundaciones en San Ramón, encontrándose que es muy poco lo que se ha hecho en forma sistemática por dicha problemática. Esta información se tomó de revistas, periódicos regionales y especialmente de las actas que posee la Municipalidad de San Ramón.

La información bibliográfica existente sobre el tema se encuentra muy dispersa, se basa sobre todo en tesis de grado e informes institucionales. La mayor parte de la información bibliográfica existente es de carácter técnico, general y en su mayoría es sobre otras localidades del país.

La información cartográfica existente sobre el área de estudio es escasa y a una escala pequeña. Se trabajó con base en las hojas cartográficas San Ramón y Volio elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional (1991) a escala 1: 10 000. Estas son las únicas fuentes cartográficas que poseen una escala adecuada para los fines que perseguía la investigación.

Asimismo, se utilizó la técnica de la fotointerpretación, la cual permitió extraer toda la información sobre el uso de la tierra durante dos décadas (1979-1999). Esta fotointerpretación se hizo utilizando un Zoom Tranfer Scope de alta resolución que fue facilitado por el Instituto Geográfico Nacional para ser utilizado en San José, dado que su gran tamaño, dificultan su traslado hasta San Ramón.

La fotointerpretación se complementó con recorridos por la microcuenca y luego se utilizó un sistema de información geográfico para cartografiar la información mapeada.

De los mapas acerca de uso de la tierra se pudieron obtener porcentajes de cambio y el tamaño de las áreas de cada uno de los usos en su debido periodo bajo estudio. Con esta información se logró obtener también la variación espacial del uso de la tierra.

Se recopiló información a partir de una entrevista a informantes claves mayores de setenta años. Para ello se escogieron cinco personas claves que hubieran vivido en San Ramón por mas de cincuenta años y que tuvieran un buen conocimiento de la realidad ramonense. Esto se hizo sobre todo para determinar

cuál ha sido la frecuencia de las inundaciones y los sectores sociales más afectados en San Ramón.

El trabajo de campo fue esencial para extraer información no existente en forma documental y para corroborar aquella que por diversos motivos no era clara, como por ejemplo la cartografía a escala muy pequeña.

Por último, se expusieron los resultados a la comunidad mediante charlas. Se presentó ante el Concejo Municipal y ante la comunidad del Porvenir. Los miembros del Concejo mostraron gran interés por la investigación y piensan que es muy oportuna en vistas de que se van a iniciar los estudios para la aplicación de un plan regulador en San Ramón. En cuanto a la Urbanización El Porvenir consideran que esta investigación es la clave para organizar la comunidad y para posteriormente solicitar fondos a alguna institución de carácter internacional para restaurar algunos sectores de la quebrada Estero, como el “Laguito”.

3.2. Dificultades

Entre las dificultades encontradas se tienen las siguientes:

Las fuentes cartográficas en su mayoría poseen una escala inadecuada dificultando la obtención de una información pertinente. Esto sobre todo si se considera que el área de estudio requiere de datos precisos sobre aspectos ambientales como la geología, geomorfología, topografía y sociales como el uso de la tierra.

Aunque el investigador principal ya había utilizado algunos programas de sistemas de información geográfica como Idrissi y Arc Info, no se poseía ningún conocimiento en Arc View 3.2 lo que demoró la ejecución de los mapas. Además,

en la Sede de Occidente solamente existe una llave y una computadora para accesar dicho programa.

La demora en la adquisición de los datos climatológicos imposibilitó llevar a cabo el análisis climático en la forma que se pretendía. Solo se hizo en forma muy general, utilizando datos promedio de un anuario que fue publicado hace 13 años por el Instituto Meteorológico Nacional. Sin embargo, esta situación es previsible cuando se trata de lidiar con instituciones gubernamentales caracterizadas por su enorme burocracia.

Se tuvo que pasar por una serie de procedimientos como contactar personas encargadas de la información, una entrevista para explicar la utilización de la información y posteriormente la firma de un contrato con la consiguiente prueba de parte de la Universidad de Costa Rica de que se trataba de un proyecto de investigación. De momento se cuenta con la firma del contrato entre ambas entidades, Sede de Occidente, U.C.R e Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, MINAE. De ahí que la entrega de la información se hará en los próximos días.

4. RESULTADOS

4.1 . Logros relevantes

La información recopilada de las actas municipales conjuntamente con la obtenida de periódicos, revistas regionales y entrevistas fueron la base para realizar el objetivo N° 1 sobre el número de inundaciones que se han registrado en la microcuenca Estero (Capítulo N° 1). Los datos demuestran que no existe una periodicidad marcada en la ocurrencia de las inundaciones.

Los eventos de inundación están vinculados con ciertos disturbios atmosféricos como tormentas tropicales y huracanes que han afectado el país en

forma directa e indirecta y sobre todo aquellos que han tenido mayor influencia sobre la vertiente Pacífica. Sin embargo, de acuerdo al recuento histórico realizado en esta investigación se descubrió que también ha habido inundaciones durante eventos relacionados con temporales y aguaceros fuertes y -que no tienen ninguna relación con huracanes tropicales.

Se hizo un análisis socio-espacial de la microcuenca Estero. En éste se incluye una breve historia sobre el origen del poblamiento y su expansión demográfica dentro de la microcuenca y la evolución en el uso de la tierra. En este último apartado se hace un análisis exhaustivo de los procesos de cambios en el uso de la tierra que incluye dos décadas, o sea de 1979 a 1989 y de 1989 hasta 1999. Se obtuvieron las extensiones en hectáreas de los diferentes usos existentes para cada año en estudio.

Además, se realizó una comparación entre los distintos porcentajes del uso de la tierra de la microcuenca Estero para cada uno de los años en estudio y luego se hizo una comparación entre las décadas. Se comparó el porcentaje de cambio en el uso de la tierra entre 1979 y 1989, así como entre 1989 y 1999 y entre 1979 y 1999, encontrándose diferencias muy marcadas entre las distintas décadas en estudio. Dentro de lo más sobresaliente se destaca la desaparición casi total del bosque y el acelerado aumento de las áreas residenciales (Capítulo N° 2).

Aunque no estaba contemplado dentro de los objetivos específicos de la investigación se hizo un análisis exhaustivo de los elementos biofísicos de la microcuenca. Se encontró que a pesar de ser un área muy pequeña presenta una gran variabilidad física y ambiental. Por ejemplo, existen materiales provenientes de distintas formaciones geológicas y edáficas. La topografía es irregular en la sección alta y baja de la microcuenca y muy plana en el sector medio lo que la convierte en un sitio idóneo para que se propicien inundaciones.

Las condiciones hidrológicas y climáticas demuestran que hay años y épocas muy húmedas en San Ramón, lo cual también favorece la ocurrencia de inundaciones (Capítulo N° 3).

Asimismo, se realizó una evaluación del riesgo inundaciones en la microcuenca Estero. Se determinaron varias de las causas por las que éstas ocurren, entre los que destacan la influencia de las variables biofísicas y sociales. Se encontró que la geomorfología existente en la parte alta caracterizada por la presencia de una ciénaga contribuye con las inundaciones en períodos muy lluviosos. A su vez las condiciones geomorfológicas de la parte media son propicias para ser inundadas dada la planicie presente.

Igualmente, contribuyen otros factores, tales como el uso de la tierra presente sin ningún planeamiento, la impermeabilización del suelo por la expansión urbana, el impacto de las construcciones sobre el cauce y en las márgenes, el diámetro de las canalizaciones y alcantarillados existentes en la quebrada. Se hizo además una delimitación de las áreas inundadas y se detectó que tanto el sector residencial como el comercial han sido afectados (Capítulo N° 4). De las entrevistas efectuadas a personas mayores se encontró que las inundaciones en San Ramón no es un fenómeno reciente y que algunas de éstas han sido muy intensas (Anexo N° 2)

Por último, se hizo una exposición de los resultados de la investigación en la Municipalidad de San Ramón y en la urbanización El Porvenir, (Anexo N° 3).

4.2. Publicaciones y Presentaciones

a) Posibles Publicaciones

- Transformación del uso de la tierra, microcuenca quebrada Estero, San Ramón

- Periodicidad de las inundaciones en la planicie de la microcuenca Estero, San Ramón.

- Factores biofísicos que influyen en las inundaciones de la quebrada Estero, San Ramón.

- Causas de las inundaciones en la quebrada Estero, San Ramón.

-

b) Presentaciones radiales

Se transmitieron cuatro programas en forma radial, utilizando la emisora local (Radio Sideral) de la siguiente forma (Anexo N° 4):

- Riesgos Naturales: 10/09/2001

- Los huracanes: su impacto socioeconómico: 4/10/2001

- Riesgo de inundación en la microcuenca Estero: 8/11/2001

- Plan Regulador y Ordenamiento territorial: 3/12/2001

c) Charlas

Se impartieron las siguientes charlas, tanto en el ámbito universitario como comunal:

- Evaluación del Riesgo de inundación en la Quebrada Estero: Museo de San Ramón: 5/4/2001

- Las inundaciones en San Ramón y su relación con los huracanes. Curso Fundamentos de Biología: 24/5/2001.

- Causas de las inundaciones en la Quebrada Estero, San Ramón. Urbanización El Porvenir: 21/11/2001.

- Evaluación socio-ambiental de las inundaciones en la Quebrada Estero, San Ramón. Concejo Municipal de San Ramón: 27/11/2001.

4.3. Observaciones

A pesar de que el proyecto de investigación ha cumplido con los objetivos propuestos, el objetivo N° 4 debería desarrollarse en una forma más exhaustiva. Para lograr que se concrete de una mejor forma, se tienen que llevar a cabo los siguientes objetivos y metas:

Objetivos y metas: Con la ampliación del proyecto de investigación se pretende cumplir con los siguientes objetivos.

a) Objetivo general

- Constatar el impacto que ocasionan los desbordamientos de la quebrada Estero sobre los distintos sectores socioeconómicos (agricultura, viviendas, comercios y servicios) ubicados en su microcuenca.

b) Objetivos específicos:

- Valorar cualitativamente la vulnerabilidad de las principales obras de infraestructura de carácter puntual y lineal que están expuestas a los desbordamientos.
- Determinar el impacto social que producen las inundaciones sobre el sector primario ubicado en el área de estudio.
- Identificar los problemas que han presentado algunas instituciones de servicio público como consecuencia de los desbordamientos de la quebrada Estero.

c) Metas:

- Aplicación de una encuesta a una muestra de cincuenta residentes (viviendas), con el fin de determinar el impacto social sobre las infraestructuras (edificios y vías).
- Aplicación de una encuesta a una muestra de veinticinco agricultores con la idea de identificar posibles pérdidas durante lluvias excesivas.
- Realización de una entrevista programada y por separado de acuerdo a su función a cada una de las instituciones que prestan servicios públicos en San Ramón y que se ubican en la microcuenca de la quebrada Estero.

Justificación de la ampliación de vigencia.

El objetivo general que se plantea en esta ampliación del proyecto de investigación se analizó parcialmente y en forma muy general. Este se realizó mediante una entrevista a cinco personas mayores de setenta años que han residido en San Ramón por más de cincuenta años. La información recopilada de dichas personas fue esencial para determinar el número de inundaciones y priorizar a grandes rasgos los sectores socioeconómicos afectados por las inundaciones. No obstante, no se tomó en consideración la población que vive en las márgenes de la quebrada, en sectores aledaños, así como agricultores, comerciantes y demás instituciones públicas que prestan servicios en San Ramón.

Por consiguiente, tanto personas físicas como instituciones, en las que se incluyen infraestructuras como edificaciones, puentes, vías de comunicación y cosechas podrían haber sido afectados durante alguna inundación, de ahí que se ha considerado oportuno tomar en cuenta sus opiniones.

De esta forma, se podría constatar el conocimiento que tiene un porcentaje de la población ubicada en la microcuenca de la quebrada Estero con respecto a las inundaciones. Además, se podría obtener una idea de las implicaciones socioambientales que se subsistan como consecuencia de los desbordamientos.

Con la ampliación del proyecto de investigación durante el año 2002 se pretende obtener información relevante que en un futuro ayudaría a mitigar los efectos de posibles inundaciones. De esta forma, se podría profundizar, aún más, en los impactos que han ocasionado las inundaciones en San Ramón.

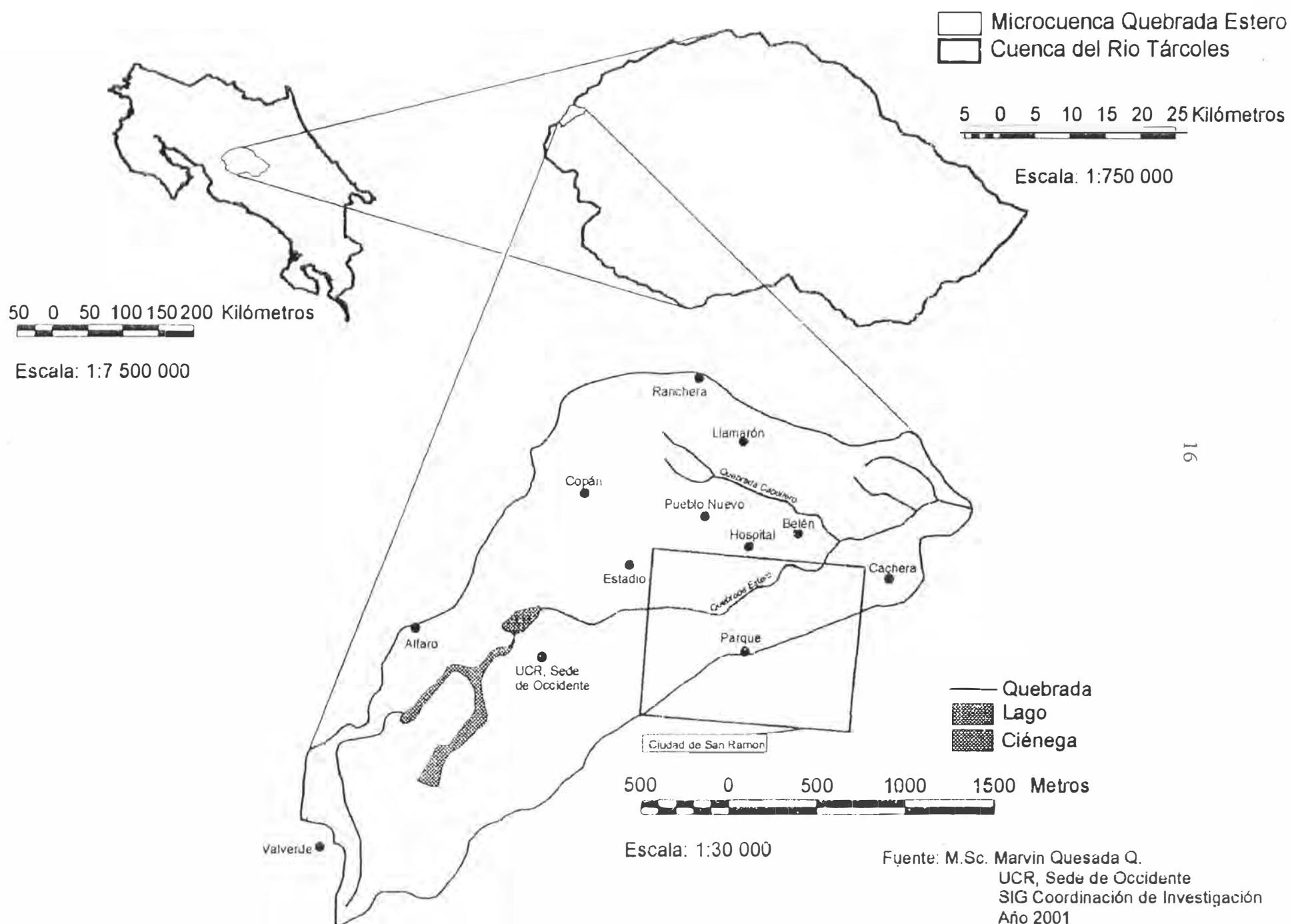
Sin embargo, es pertinente manifestar que las actividades que se pretenden llevar a cabo, serán difíciles de realizar durante un ciclo lectivo, dado que se depende estrictamente de un grupo considerable de personas a las que es necesario aplicárseles encuestas y entrevistas. De ahí que se solicita muy respetuosamente se evalúe la posibilidad de una ampliación a dos ciclos lectivos.

CAPITULO I ANTECEDENTES DE LAS INUNDACIONES

1.1. Ubicación geográfica de la microcuenca e implicaciones

La Microcuenca Estero forma parte del sistema fluvial del río Grande de Tárcoles. Este se divide en dos secciones al Este el río Virilla y al Oeste el río Grande de San Ramón. La microcuenca Estero se ubica en la segunda cuenca hidrográfica. A pesar de su pequeña extensión, comparado con el área de la cuenca donde se ubica, se ha inundado en varias oportunidades y en diferentes años, especialmente en su sector medio y bajo. Esta situación ha sido de gran repercusión social dada la presencia de la ciudad de San Ramón en sus inmediaciones. La microcuenca Estero abarca un área de aproximadamente 5 Km² y se ubica en la sección más occidental de la Cuenca del río Grande de San Ramón (Fig. N° 1).

Fig. 1. Microcuenca Quebrada Estero en referencia a la Cuenca Alta del Río Tárcoles



1.2. Eventos relacionados con las inundaciones

La recopilación histórica de los reportes que se han hecho de las inundaciones en San Ramón y particularmente en la quebrada Estero evidencian que dicha problemática no es algo reciente y que se ha ido intensificando con el tiempo, especialmente en las últimas tres décadas. Además, no existe una época definida de la ocurrencia de tales inundaciones, éstas han ocurrido en diferentes meses al año.

Desde el año 1900, la Municipalidad de San Ramón posee registros (actas) que sirven de evidencia de la cantidad de lluvia que ha caído sobre la zona territorial que cubre la microcuenca Estero y algunas de las implicaciones para los pobladores de San Ramón. No obstante, se debe tomar en cuenta que una

inundación involucra un fenómeno complejo y es percibido de manera diferente por las personas. Los sitios y sus magnitudes pueden variar considerablemente, por lo que sus efectos sobre el entorno pueden manifestarse de diversas formas. Según Ward (1978) “una inundación es un cuerpo de agua que aumenta su nivel hasta cubrir tierras que no están normalmente sumergidas”. Partiendo de este concepto, en esta investigación se citan todo tipo de inundaciones, desde las que provocaron daños mínimos en sectores muy pequeños hasta aquellos que inundaron gran parte de la ciudad de San Ramón.

De acuerdo con la documentación revisada se tienen reportes de eventos relacionados con inundaciones durante varios años. Estos reportes manifiestan quejas, denuncias, solicitudes de ayuda por los desbordes de la quebrada, como se indicó anteriormente, éstas reportes se han dado desde inundaciones que han afectado unas cuantas viviendas o calles hasta inundaciones que han causado un gran desastre.

Desde el punto de vista cronológico se tiene que para las décadas de los años diez y treinta se manifestaron inundaciones en los años 1911, 1912 y en 1933. Asimismo, tanto la década de los años cincuenta como la sesenta manifestaron inundaciones en dos años diferentes (1950, 1954 y 1963, 1969). En la década de los setenta aumenta el número de años con reportes sobre inundaciones en cinco años diferentes (1970, 1971, 1974, 1976 y 1979), en la década de los ochenta a siete años (1981, 1983, 1985, 1986, 1987, 1988 y 1989) y para la última década se dieron cuatro años con reportes relacionados con desbordes de la quebrada Estero (1996, 1997, 1998 y 2000).

Esto demuestra que aparentemente dichos eventos se han incrementado en las últimas tres décadas. Aunque no hay que dejar de lado que en algunos años las inundaciones son más severas que en otros, lo cual queda demostrado en las actas municipales donde en ciertos años se hace alusión a fuertes inundaciones. Por ejemplo, en la Sesión Extraordinaria de la Municipalidad de San Ramón, el señor Victor Blanco Rojas intervenía para solicitar al Concejo Municipal de la urgente necesidad de reparar los caminos a consecuencia de las inundaciones provocadas durante el Huracán Fifi (Acta Municipal, 1974, N° 34).

Igualmente, se cita que varios sectores de la urbanización El Porvenir fueron afectados al subir el nivel de las aguas de la quebrada Estero a causa de los estragos que provocó el Huracán Mitch en 1998. Incluso se hace referencia a una laguna que se formó en las inmediaciones de esa urbanización y que por momentos amenazó a gran parte de la población de San Ramón (El Occidente, 1998).

Por otro lado, al analizar en forma cronológica las principales inundaciones, se tiene que de acuerdo a las fuentes revisadas, el primer evento se manifestó en 1911 donde se hace mención de la necesidad de limpiar el cauce del Estero para evitar los desbordamientos que se han suscitado. En 1912 dicho

cauce se volvió a desbordar por una gran crecida. De la misma forma, en una sesión municipal el señor Fabián Calvo indicó que en 1933 se dio una inundación de magnitud tremenda en San Ramón (Acta Municipal, 1998, N° 54).

Esto lo reafirma el señor José María Arias Arguedas durante una entrevista cuando relata que en el año de 1933 ocurrió una de las inundaciones más grandes que se han dado en San Ramón. "La quebrada Estero se desbordó, llegando las aguas hasta el mercado municipal, que en aquel momento era de madera, afectando los diferentes establecimientos comerciales allí ubicados. Además, algunos vecinos de la quebrada cerca de donde hoy se encuentra la urbanización El Porvenir perdieron animales domésticos como cerdos, gallinas y perros. Aunque, no se notaban daños serios en la agricultura porque casi solo existían cafetales, sí se hicieron desagües dentro de ellos y un gran lavado de suelos. Además, se dañaron algunas viviendas y comercios aledaños a la quebrada" (Arias, 2001).

En 1950 se presentó un temporal muy fuerte que provocó que se llenaran los ríos en San Ramón obstruyendo parte del alcantarillado del Estero, afectando un gran sector de la ciudad (Acta Municipal, 1950, N° 35), inundándose sectores donde se encuentra la actual parada municipal (Foto N° 1). Mientras que en 1974 a consecuencia del Huracán Fifí ocurrió una de las más severas inundaciones que ha sufrido la ciudad de San Ramón. Un ejemplo de ello lo indicaba el señor delegado cantonal de San Ramón en una sesión Municipal al decir que San Ramón estaba pasando por una tragedia debido a las inundaciones (Acta Municipal, 1974, N° 33). Algunas viviendas sufrieron serios destrozos (Foto N° 2), mientras que ciertos sectores de ciudad colapsaron, dada las fuertes inundaciones (Foto N° 3).



Foto No. 1

Inundación en la Parada Municipal de San Ramón (C. 1950) (Cortesía Museo San Ramón)



Foto No. 2

0132890

Destrozos ocasionados por el Huracán Fifi en viviendas ubicadas cerca de la Quebrada Estero, San Ramón, 1974. (Cortesía Museo de San Ramón).

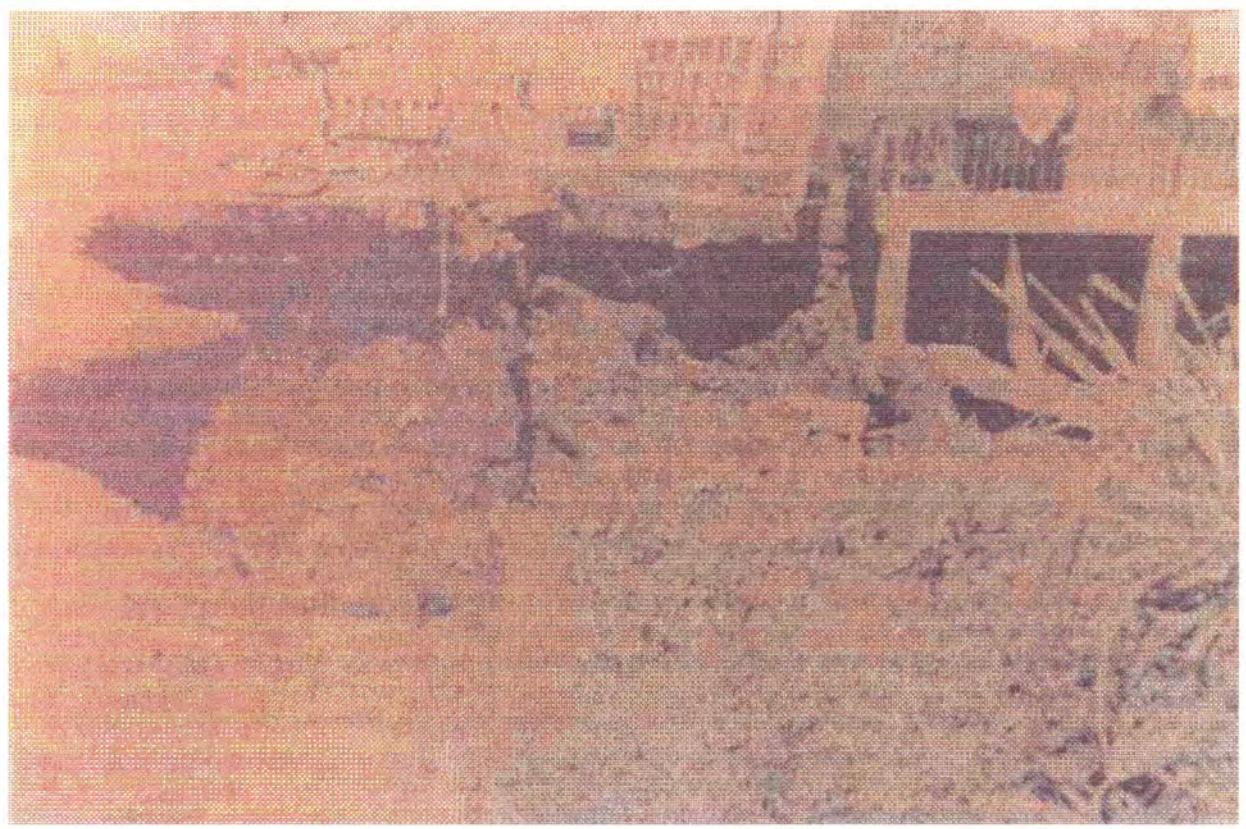


Foto No.3

Vista de un hundimiento de tierra producto del paso del Huracán Fifi, San Ramón, 1974.
(Cortesía Museo de San Ramón).

En 1983 el sindico Arturo Alfaro Alfaro manifestó que las aguas se salieron del cauce del Estero, Dicho señor hace la recomendación de que se debe coordinar con la Universidad de Costa Rica (Sede de Occidente) para que en horas de la mañana se baje el caudal de las aguas del “Laguito” y de esta forma se evite el rebalse (Acta Municipal, 1983, N°137).

En 1988 durante la influencia del Huracán Juana, fuertes lluvias ocasionaron el desborde de la quebrada Estero y el consecuente efecto sobre las viviendas ubicadas en sus márgenes. Esto causó gran preocupación en la población, dado que se había anunciado que sería un huracán que causaría grandes destrozos.

Por último, otra de las inundaciones más severas que han afectado San Ramón se dio en 1998 durante el Huracán Mitch que provocó que se desbordara el cauce del Estero inundando los sectores del Porvenir y parte de la ciudad de San Ramón, incluso por algunas horas los autobuses de la parada del servicio a Puntarenas y San José tuvieron que cambiar el abordaje de los pasajeros.

Según Angela Quesada (2001) la quebrada Estero a principios del siglo XX, a parte de que poseía aguas limpias, el caudal era mayor, existían árboles en sus márgenes y no se daban inundaciones que causaran daños considerables. Sin embargo, conforme se empieza a ubicar la población, especialmente en sus orillas, se inicia la tala de árboles y la quebrada se convierte en un desaguadero de todo tipo de desechos y las inundaciones se empiezan a presentar con cierta frecuencia.

En los documentos revisados se evidencia que en algunos años se han dado lluvias torrenciales que duraban hasta veintidós días, hecho que lo afirman residentes que han vivido en San Ramón por más de cincuenta años, como son los señores Ulises Cordero y Angela Quesada (2001). Ellos aseveran que durante

los años treinta, cincuenta y sesentas se daban temporales largos que eran los causantes de las inundaciones. Además, manifiestan que a pesar de que las inundaciones eran muy grandes, durante esos años el problema no era tan evidente, porque en aquellos años no había tantas personas viviendo en las inmediaciones de la quebrada como ahora. Tampoco había mucha infraestructura como urbanizaciones, comercios y toda la expansión que ha tenido la ciudad. Estos factores actualmente contribuyen a que las inundaciones sean aún más evidentes.

Al igual que los eventos que se citaron anteriormente que dejaron una huella en algunos sectores de la microcuenca, también se han dado otros de importancia similar que han ocurrido en otros años. Algunos de estos, aunque son de menor magnitud, han afectado ciertos sectores de la microcuenca. Estos se detallan en el cuadro N° 1.

Cuadro N° 1. Desbordamientos de la Quebrada Estero, San Ramón de 1900 al 2000.

Año	Mes	Repercusiones
1911	Setiembre	Quebrada Estero se desbordó y causó daños severos.
1912	Marzo	Gran crecida del Estero
1912	Abril	Desborde del cauce Estero
1933	Setiembre	Gran inundación en San Ramón
1950	Setiembre	Inundaciones por tormenta King
1950	Octubre	Fuerte temporal en San Ramón
1950	Octubre	Inundación en el Estero
1954	Octubre	Inundaciones en San Ramón
1963	Setiembre	Estero rebasa por causa de tormenta
1969	Agosto	Lluvias afectan ríos en San Ramón
1970	Mayo	Alma provoca crecida del Estero
1971	Agosto	Inundaciones en San Ramón
1971	Setiembre	Tormenta Irene afecta San Ramón
1974	Setiembre	Inundación del Estero
1974	Setiembre	Se desbordó Estero
1974	Setiembre	Fifi afecta San Ramón
1974	Setiembre	El lago a punto de colapsar
1974	Setiembre	Parada de autobuses inundada
1974	Setiembre	Puente calle Varela destruido
1976	Julio	Fuertes lluvias azotan San Ramón
1979	Octubre	Lluvias amenazan cauce Estero

1979	Octubre	Inundaciones en la parada de autobuses
1981	Setiembre	Rebalsa quebrada Estero
1983	Febrero	Aguas se salieron del cauce
1983	Setiembre	12 horas de lluvia continua en San Ramón
1983	Setiembre	Las aguas se desbordan invaden las propiedades aledañas
1983	Setiembre	Las aguas se salieron del cauce.
1985	Junio	Rebasa la capacidad del Estero
1986	Abril	Urge construir embalse para evitar inundaciones
1986	Agosto	Inundaciones afectan Pueblo Nuevo
1986	Agosto	Inundaciones en las propiedades y daños al Estero
1986	Agosto	Estero es un problema para San Ramón
1986	Agosto	Las aguas se salen del Estero.
1987	Mayo	Obstrucción del cauce, quebrada se desborda
1987	Junio	Alto nivel de aguas en el Estero
1987	Octubre	Inundaciones en Pueblo Nuevo
1988	Setiembre	San Ramón afectado por Huracán
1988	Octubre	Lluvias afectan quebrada Estero
1987	Octubre	Inundación en Pueblo Nuevo
1989	Setiembre	Listos a evacuar por inundaciones
1997	Febrero	Derrumbes que obstaculizan el paso de vehículos
1997	Marzo	Inundaciones, malos olores cerca del Hogar de Ancianos
1997	Mayo	Insectos, inseguridad por inundaciones cerca del Llamaron
1998	Octubre	Daños a viviendas de personas de escasos recursos.
1998	Octubre	Inundaciones en la parada de autobuses a Puntarenas y San José
1998	Octubre	Mitch deja estragos en San Ramón
1998	Octubre	Se desborda quebrada cerca de la Feria del Agricultor
1998	Octubre	Peligran casas cerca del laguito
1998	Noviembre	Advierten sobre amenaza del laguito
1998	Noviembre	Anegamiento en viviendas ubicadas cerca Estero
1998	Diciembre	El Laguito amenaza al cantón
2000	Febrero	Peligra que se desborde quebrada Estero
2000	Febrero	El cauce del Estero rebalsa
2000	Marzo	Obstrucción del canal del Estero.

Fuente: Municipalidad de San Ramón. 1900-2000

El Occidente. 1998-99

Actualidad Ramonense. 2000

Entre Cantones. 1994

Arias, Cordero, Quesada y Vargas. 2001.

Como se puede notar existen diferentes años y meses de ocurrencia de inundaciones lo que evidencia que las inundaciones son eventos difíciles de predecir y siempre que la quebrada Estero se ha desbordado ha causado problemas sobre algunas urbanizaciones, barrios o en la ciudad de San Ramón y su periferia. Aparte de que las inundaciones han mostrado ser eventos dinámicos en el tiempo y en el espacio, éstas han tenido diferente intensidad, lo cual depende de varios factores que no toca analizar en esta investigación.

CAPITULO II EVALUACION SOCIOESPACIAL

Una evaluación socio-espacial en un estudio de inundaciones es indispensable porque contribuye básicamente de dos formas con la temática en consideración. En primer lugar, las comunidades humanas son un agente transformador activo del soporte físico del sistema, al alterar ciertas condiciones edáficas, hídricas y al sustituir la vegetación para dedicarla a otras actividades como las agropecuarias y urbanas. En segundo lugar, el patrón de asentamiento de la población dentro de un espacio determinado podría ser un factor causante de las inundaciones.

En esta investigación es difícil considerar detalladamente la totalidad de las variables sociales que existen en San Ramón. Por lo tanto, sólo se incluyen algunos factores que están inmersos en el contexto espacial y que tienen relación directa con las inundaciones en dicha microcuenca. Estas variables son: poblamiento del área de estudio, su evolución demográfica y el uso de la tierra.

2.1. Breve historia sobre el origen del poblamiento de la microcuenca

Al reconstruirse a grandes rasgos el proceso de poblamiento se puede comprender la naturaleza de las intervenciones sobre el medio natural y se obtiene una evaluación preliminar sobre los sitios de emplazamiento y su posterior expansión.

En Costa Rica a finales del siglo XIX se produjeron desplazamientos de población buscando mejores terrenos. Es así como habitantes de Alajuela y Heredia, entre otros, optan por iniciar dicha aventura, logrando así llegar hasta San Ramón. El 19 de enero de 1844, el Jefe Supremo del Estado, José María

Alfaro emite el decreto mediante el cual se creaba la población de San Ramón y dos años después se da la creación del cantón (Pineda, 1981).

A partir de ese momento la población empieza a crecer en las cercanías de la quebrada Estero, o sea en lo que actualmente es parte del distrito de Alfaro y la ciudad de San Ramón, así como en los poblados de San Juan y San Rafael. El crecimiento de población fue muy rápido, siendo necesario dotar a San Ramón de algunos servicios públicos de necesidad básica, como los judiciales, médicos y de autoridades. En 1902 la villa de San Ramón obtiene el título de ciudad como producto de la serie de poblados que se habían formado en sus alrededores (Echavarría, 1966).

Uno de los factores que influyen para que los asentamientos humanos se ubiquen en las inmediaciones de ríos y quebradas se debe a que éstas tierras son normalmente muy fértiles, lo que hace que sean preferidas como campos agrícolas. Los valles son también sitios muy atractivos por su planicie para la construcción de infraestructuras (viviendas, centros comerciales y de recreación, edificaciones para servicios y vías de comunicación).

Asimismo, por el motivo de que el agua es vital para la sobrevivencia humana, las civilizaciones siempre han preferido ubicarse en las riveras de los ríos para realizar una serie de labores cotidianas como el aseo, lavado de ropa, el uso doméstico y otras actividades agropecuarias e industriales, como son el riego, agua para abrevaderos, producción de electricidad, entre otros. Sin embargo, la ubicación de viviendas y actividades en las cercanías de los cursos fluviales, en muchos casos ha traído consigo serios problemas de inundaciones.

La ubicación de la ciudad de San Ramón y de algunos de los poblados en un valle con una topografía plana muy cómoda para la construcción de infraestructuras y con condiciones edáficas muy fértiles, contribuyeron a que se

asentara la población en las inmediaciones de cursos fluviales como son las quebradas Estero y Gata. Estos factores indudablemente influyeron en el tamaño, la densidad y la distribución de las aldeas en San Ramón (Vargas, 2001).

Estas circunstancias ayudaron a que paulatinamente se fueran incrementando las actividades urbanas hasta lo que es actualmente, un polo de crecimiento con gran cantidad de funciones comerciales y servicios. No obstante, es un asentamiento poblacional ubicado en una zona de riesgo de inundación.

2.2. Evolución demográfica

La población total, el espacio disponible, la distribución de la población, las tasas de crecimiento y la formación de aglomeraciones y la ubicación cerca de un curso fluvial son entre otras, algunas de las características que podrían influir en la ocurrencia de inundaciones en un sitio determinado cuando no existe un planeamiento urbano o rural adecuado.

En el cuadro N° 2 se presentan los datos sobre población para los tres distritos que se encuentran dentro de la microcuenca Estero

Cuadro N° 2. Evolución demográfica por distritos en la microcuenca Estero, San Ramón

Año	Central	Alfaro	San Juan
1963	6973	1102	1783
1973	9245	1348	3499
1984	9624	2030	5757
1995	9646	2573	8014
2000	9659	4741	9690

Fuente: Dirección General de Estadística y Censos. Censos de Población 1963, 1973, 1984 y 2000

Ministerio de Salud Estadísticas vitales, 1995 República de Costa Rica

Como se puede observar la población en estos distritos se ha incrementando durante los últimos cuarenta años. Un gran porcentaje de esta población es urbana, se ubica en la periferia de la ciudad de San Ramón. San Juan es el distrito del cantón que ha mostrado un mayor incremento poblacional durante las últimas cuatro décadas, dada su cercanía a la ciudad y por sus condiciones topográficas muy planas.

En el distrito de Alfaro existe un patrón de asentamiento de la población típico de un área rural, o lineal y disperso que sigue la dirección de los ejes viales. Existe una cierta tendencia a concentrarse la población en las inmediaciones de la plaza de deportes y en las cercanías de la ciudad de San Ramón.

En el distrito central se da todo lo contrario, la concentración poblacional es densa, en éste sector no solo se ubican viviendas, sino que también existen una serie de comercios y servicios. Las avenidas de la ciudad tienen una dirección paralela a la quebrada, lo que contribuye al asentamiento de la población en las inmediaciones de la quebrada. El incremento de la población no ha sido notorio dado que es un distrito muy pequeño y espacialmente no hay posibilidad de un incremento poblacional.

2.3. Evolución del uso de la tierra

En general, las inundaciones se pueden presentar como consecuencia del desplazamiento paulatino o violento de las aguas y sedimentos en cantidades abundantes sobre una superficie que normalmente es plana. La duración, frecuencia, magnitud e intensidad está determinada por la interacción entre el nivel del caudal y las características morfoestructurales y socio-culturales existentes en una cuenca (Flores y Sauvita 1997).

EL uso de la tierra en un espacio geográfico esta determinado por ambas condiciones, en especial por las socio-culturales. Por lo tanto, la existencia de inundaciones también está directamente ligada al uso de la tierra que tenga una cuenca hidrográfica. Normalmente, cuando una cuenca hidrográfica cuenta con la presencia de cobertura vegetal o sea áreas bajo bosques, cultivos, pastos, maleza, etc., la percolación de las aguas en los suelos es ayudada por la intercepción que ejerce dicha cobertura.

Asimismo, pueden existir sectores con escasa cobertura vegetal o con suelo desnudo, en éstos por lo general la infiltración es mínima y el escurrimiento superficial es alto, ocasionado no solo la erosión de los suelos sino que también el aumento de los niveles de los cursos de agua. Los sectores más propensos a sufrir este tipo de situaciones son las áreas donde se emplazan ciudades, pueblos, edificaciones y carreteras, sobre todo espacios con escasa o sin ninguna pendiente y que a veces se encuentran bajo niveles mínimos de infiltración.

Similarmente, las inundaciones son más frecuentes en aquellas cuencas hidrográficas donde hay ausencia de ordenamiento territorial y una explotación irracional de los recursos naturales. La forma en que está organizado un territorio se denota por la forma de apropiación y explotación del suelo. Es así como al analizar las inundaciones se debe tener en cuenta la ubicación geográfica, el tipo de emplazamiento, la organización y el patrón de poblamiento.

En Costa Rica es común encontrar comunidades que se ubican sobre valles y abanicos fluviales. Todo lo contrario sucede en aquellas que se han ubicado en áreas de relieve irregular o en las faldas de las cordilleras, siendo éstas menos propicias para que ocurran las inundaciones. Aunque, no se debe olvidar que estas últimos son sitios más propensos a los deslizamientos.

Las principales ciudades y las más pobladas del país se localizan en el Valle Intermontano Central. Similarmente, otras ciudades de importancia como San Isidro de El General, Palmares y San Ramón también se ubican sobre planicies rodeados por cerros, sitios muy aptos para tener un variado uso de la tierra, dada la fertilidad de sus suelos.

Al analizar las transformaciones en el uso de la tierra en los tres sectores de la microcuenca Estero (alto, medio y bajo) se nota como estos han ido variado paulatinamente durante los últimos veinte años. A pesar de que no se puede aseverar que hayan habido cambios fundamentales que puedan haber influido en las inundaciones durante el periodo en estudio, sí se puede afirmar que se han dado cambios drásticos que van desde un uso de la tierra dominado por pastos, cultivos y árboles a otro dominado por áreas urbanizadas y pastos. Esto demuestra que en la microcuenca, la existencia de cobertura vegetal ha disminuido en los últimos años y en su lugar se ha ido incrementado un uso dominado por estructuras de cemento y pasto.

De un total de 510.78 hectáreas con que cuenta la microcuenca de la quebrada Estero se tiene que para 1979 dominaba el uso dedicado a los pastos, en un segundo plano se encontraban las áreas bajo el cultivo del café. En tercer lugar se ubicaban los pastos con árboles dispersos y había cerca de 40 hectáreas bajo bosque. Las áreas residenciales apenas cubrían 72.12 hectáreas y el resto de usos contaban con una menor cantidad de hectáreas (Cuadro N° 3).

Cuadro N° 3. Uso de la tierra: microcuenca Estero, durante las últimas tres décadas (hectáreas).

USO/ AÑO	1979	1989	1999	TOTAL PERIODOS
Café	111.79	123.69	73.97	309.45
Pastos	176.60	63.60	146.93	387.13
Áreas Residenciales	72.12	129.19	198.00	399.31
Pastos y Árboles Dispersos	76.48	27.25	23.25	126.98
Bosque	40.66	9.54	3.06	53.26
Caña de Azúcar	19.59	90.40	4.86	114.85
Ciénaga	12.18	11.31	10.57	34.06
Hortalizas y Granos	1.36	35.83		37.19
Charral		20.49	20.56	41.05
Ornamentales		0.48		0.48
Áreas a Urbanizar			29.58	29.58
TOTAL	510.78	510.78	510.78	

Para el año 1989 el uso de la tierra se ve transformado, siendo el cultivo del café el que cubre la mayor cantidad de hectáreas, los pastos son relegados por las áreas residenciales, el bosque se reduce vertiginosamente, la caña de azúcar se incrementa en su número de hectáreas. Durante este periodo surgen algunos nuevos usos como son los dedicados a los ornamentales, las hortalizas, los granos y los charrales, aunque éstos cubren muy pocas hectáreas.

En el año 1999 los pastos de nuevo se incrementaron, el cultivo del café descendió, el bosque se redujo a muy pocas hectáreas y se incrementaron considerablemente las áreas dedicadas a residenciales, siendo éste el uso que cuenta con un mayor número de hectáreas en la microcuenca. Dicho uso podría aumentar aún más si se considera que hay cerca de treinta hectáreas que están en proceso de urbanización.

Cuadro N° 4. Porcentajes en el uso de la tierra: microcuenca Estero, durante las últimas tres décadas.

USO / AÑO	1979	1989	1999
Café	21.9%	24.2%	14.5%
Pastos	34.6%	12.4%	28.9%
Áreas Residenciales	14.1%	25.2%	38.8%
Pastos y Árboles Dispersos	14.9%	5.3%	4.7%
Bosque	8.0%	1.9%	0.7%
Caña de Azúcar	3.8%	17.7%	0.2%
Ciénaga	2.4%	2.2%	2.1%
Hortalizas y Granos	0.3%	7.0%	
Charral		4.0%	4.3%
Ornamentales		0.1%	
Áreas a Urbanizar			5.8%
TOTAL	100%	100%	100%

Al analizar cada uno de los usos de la tierra en los años en estudio, se tiene que en 1979 dominaban los usos dedicados a los pastos y a pastos con árboles dispersos. Durante ese periodo la microcuenca contaba hasta cierto grado con la ventaja de que esos usos protegían los suelos de la erosión y del escurrimiento superficial acelerado. Para 1989 disminuyeron dichos usos del suelo, mientras que se destacan los cultivos agrícolas como el café, la caña de azúcar y en un menor porcentaje las hortalizas y granos junto a los ornamentales. Para 1999 el uso de la tierra cambia totalmente al reducirse las áreas bajo los usos agrícola y vegetal, gran parte de esos usos son transformados en sectores urbanizados y algunos de ellos están por urbanizarse.

Cuadro N° 5. Porcentaje de cambio en el uso de la tierra:
microcuenca Estero 1979-1989.

TIPOS DE USO	1979	1989	% CAMBIO
Café	111.79	123.69	+11
Pastos	176.60	63.60	-64
Áreas Residenciales	72.12	129.19	+79
Pastos y Árboles Dispersos	76.48	27.25	-64
Bosques	40.66	9.54	-77
Caña de Azúcar	19.59	90.40	+361
Ciénaga	12.18	11.31	-7
Hortalizas y Granos	1.36	35.83	+2314

Los porcentajes de cambio entre 1979 y 1989 muestran que los únicos usos que disminuyeron su área fueron los pastos, bosques y los pastos con árboles dispersos y en un porcentaje muy bajo el sector que cubre la ciénaga, mientras que el resto de los usos incrementó su área. En este periodo sobresale el incremento del área de hortalizas, granos y la caña de azúcar.

Cuadro N° 6. Porcentaje de cambio en el uso de la tierra: microcuenca Estero 1989 - 1999

USO	1989	1999	% CAMBIO
Café	123.69	73.97	-40
Pastos	63.60	146.93	+131
Áreas Residenciales	129.19	198.00	+53
Pastos y Arboles Dispersos	27.25	23.25	-15
Bosques	9.54	3.06	-68
Caña de Azúcar	90.40	4.86	-95
Ciénaga	11.31	10.57	-6
Charral	20.49	20.46	-0.1

Por otro lado, el porcentaje de cambio entre 1989 y 1999 muestra una situación muy diferente, solo los pastos y las áreas residenciales aumentaron sus áreas y el resto de los usos muestran valores negativos, dentro de los cuales sobresale el bosque (- 68) y la caña de azúcar (- 95).

Cuadro N° 7. Porcentaje de cambio en el uso de la tierra:
microcuenca Estero 1979-1999.

USO	1979	1999	% CAMBIO
Café	111.79	73.97	-34
Pastos	176.6	146.93	-17
Áreas Residenciales	72.12	198.00	+175
Pastos y Árboles Dispersos	76.48	23.25	-70
Bosques	40.66	3.06	-9.2
Caña de Azúcar	19.59	4.86	-75
Ciénaga	12.18	10.57	-13

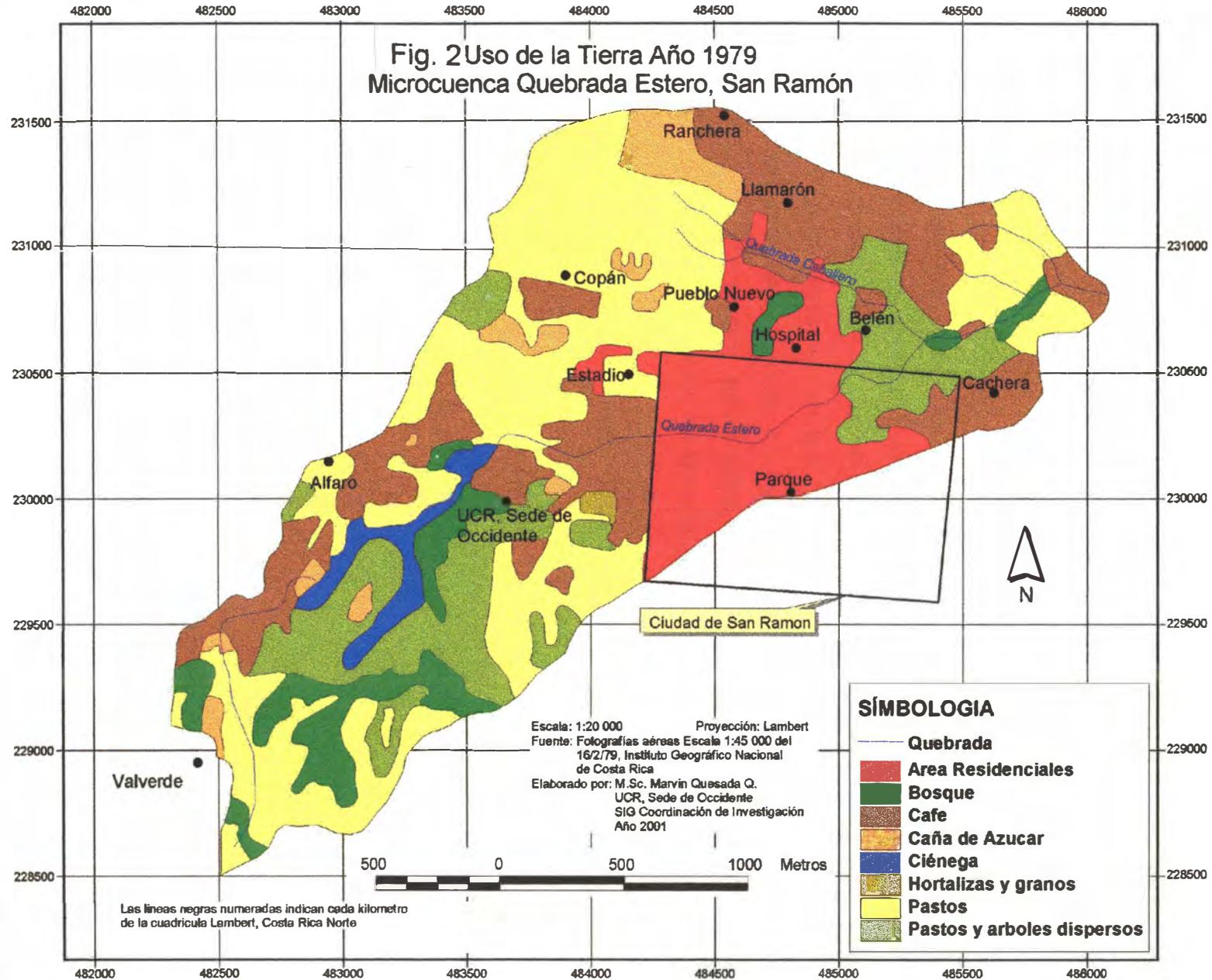
Por consiguiente, cuando se compara el año de inicio (1979) con el último de los considerados para esta investigación (1999), se encontró una situación muy diferente a los casos anteriores, donde se destaca que únicamente los sectores bajo uso urbano (incluye la ciudad y urbanizaciones) tuvieron un acelerado aumento (+ 175) y el resto de usos disminuyeron sus áreas, lo cual demuestra elocuentemente la gran expansión que está teniendo la urbanización en la periferia de la ciudad de San Ramón.

2.4. Distribución Espacial del Uso de la Tierra

Al analizarse la microcuenca por sectores se tiene que la parte alta en los años de 1979 contaba con un uso de la tierra dedicado a bosque, pastos con árboles, pastos y algunas áreas de café; y para 1989 predomina el café, la caña de azúcar y los pastos, desapareciendo prácticamente los bosques, situación que se mantiene en 1999, sólo que no se visualizan áreas bajo cultivo de caña de azúcar.

El sector medio de la microcuenca para 1979 sólo contaba con el casco urbano, ciertas urbanizaciones y en el sector norte de la ciudad cultivos de pastos y café (Fig. 2).

Fig. 2 Uso de la Tierra Año 1979
Microcuenca Quebrada Estero, San Ramón

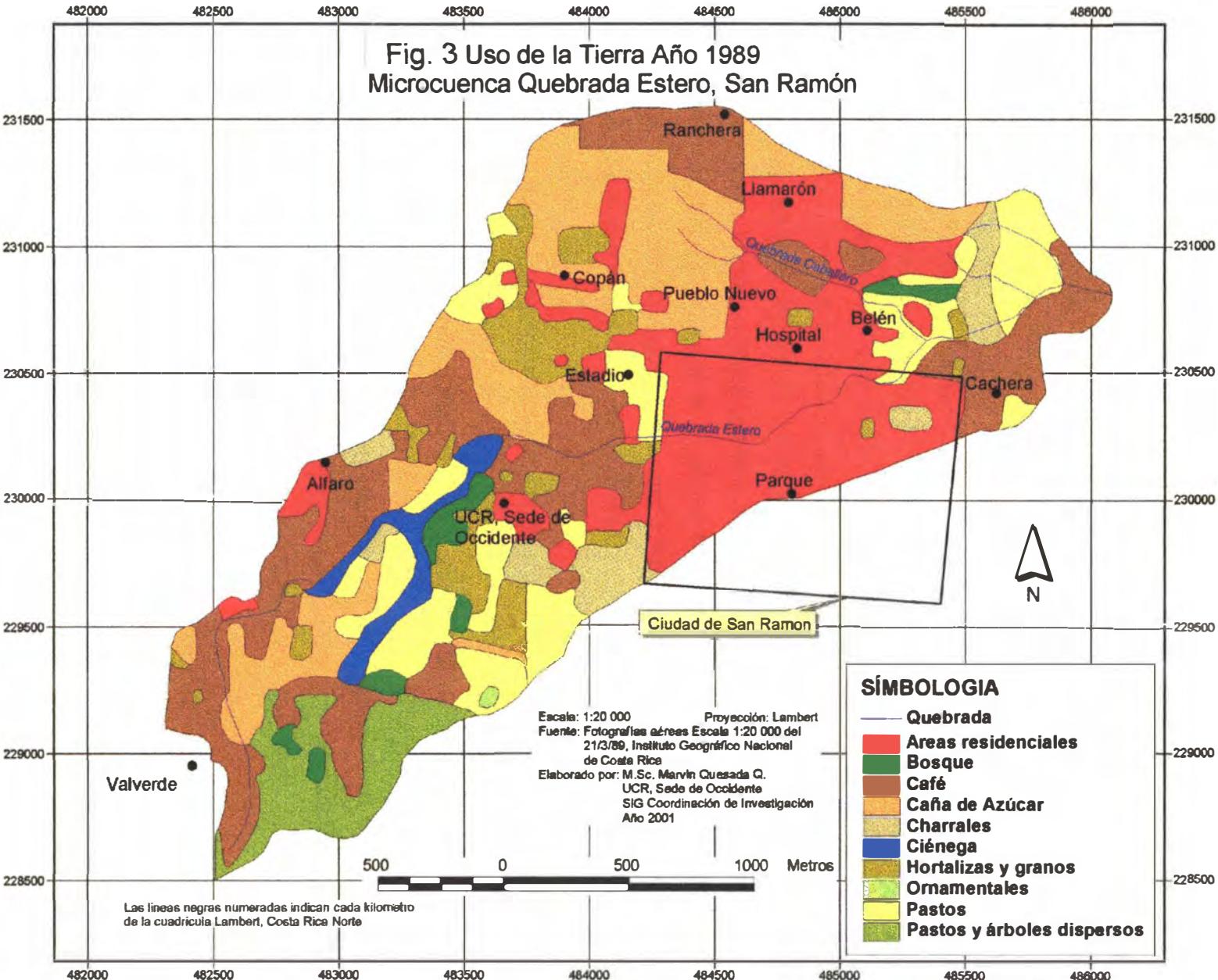


En 1989 la expansión de la ciudad hacia el sector norte es aun mayor, acompañado del cultivo de caña de azúcar. En el sector oeste de la microcuenca se inició alrededor de esos años un ligero proceso de urbanización con la construcción de las instalaciones de la Sede Regional de Occidente de la Universidad de Costa Rica. Para 1999 la ciudad se expande aun más espacialmente hacia los mismos sectores norte y oeste. Algunos usos como la caña de azúcar y los pastos fueron sustituidos por urbanizaciones. Además en este último periodo se encontró que existieron algunos sectores donde se tiene planeado la construcción de nuevas urbanizaciones, tal es el caso del sector contiguo a las instalaciones de la Feria del Agricultor que se localiza en las inmediaciones de la quebrada en estudio, además, existen proyectos para urbanizaciones 100 metros aguas arriba del Laguito y 300 sur de la plaza de deportes de Alfaro, así como en las inmediaciones del poblado La Ranchera.

En la parte baja de la microcuenca durante los primeros dos periodos de estudio (1979- 1989), existió un predominio de los cultivos de café y pasto. Incluso en 1979 había algunas manchas de bosque en las márgenes de la quebrada, a escasos 300 metros de la desembocadura. En cambio en 1999 domina un uso de la tierra bajo pastos, charrales y algunas urbanizaciones que se han expandido hacia ese sector. Posiblemente si éste sector hubiera sido plano estaría totalmente urbanizado, dado que se encuentra muy cerca de la ciudad de San Ramón.

En conclusión, la microcuenca Estero presenta un uso de la tierra muy variado a través de todo el periodo en estudio. Con el dominio de actividades agrícolas y de pastos y árboles al inicio del periodo en estudio, aunque para el segundo año (1989) dominan las actividades agrícolas. (Fig. N° 3).

**Fig. 3 Uso de la Tierra Año 1989
Microcuenca Quebrada Estero, San Ramón**

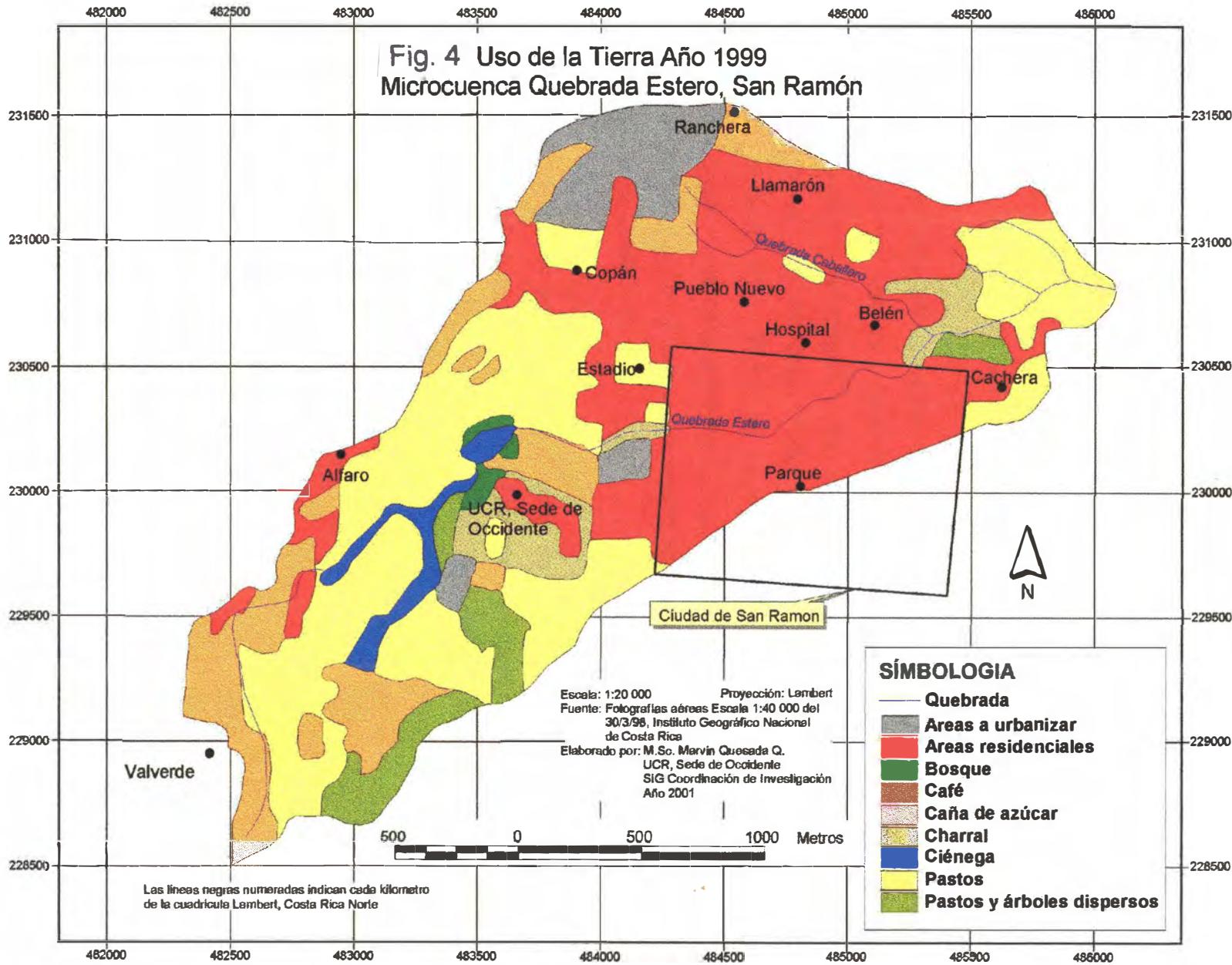


En cambio para el último año se muestra una fuerte expansión de los sectores residenciales (urbanos). Algunas partes de la microcuenca se destacan por el dominio de ciertos usos como por ejemplo, la parte media y baja se destaca el sector urbano y en la parte alta, el agrícola con una fuerte tendencia a urbanizarse.

Esta investigación muestra claramente como el acelerado crecimiento poblacional que está ocurriendo en Costa Rica ya no se circunscribe a la Gran Área Metropolitana, sino que también abarca sectores alejados del centro del Valle Central, como es el caso de San Ramón ubicado en el extremo Oeste de dicho valle. Es más, dentro de la misma zona de San Ramón se muestran polos de crecimiento hacia sectores determinados, por ejemplo se nota la expansión poblacional en un inicio hacia el Oeste en forma paralela a la Quebrada Estero y luego conforme han pasado los años dicha expansión también se ha manifestado hacia los sectores Este y Norte de la ciudad.

Aunque la expansión urbanística es mayormente hacia el sector Norte, la cual esta sustituyendo los cultivos como café, caña de azúcar, hortalizas y los pastos. Es tanta la presión poblacional, que existen ciertos sectores que a pesar de ser relativamente quebrados como es el caso de la parte Sur, se empiezan a preparar los terrenos para la construcción de urbanizaciones. De la misma forma, se visualiza una expansión de la ciudad hacia la parte baja de la microcuenca a pesar de presentar ciertas dificultades para la construcción, dada las pendientes abruptas (Fig. N° 4).

**Fig. 4 Uso de la Tierra Año 1999
Microcuenca Quebrada Estero, San Ramón**



A través de todo el periodo en estudio se muestra una fuerte tendencia a los cambios en el uso de la tierra, en algunos casos posiblemente por la variación de los precios en los mercados internacionales como el caso de los cultivos de café y caña de azúcar y en otros casos por situaciones obligadas como es el caso del crecimiento poblacional. Se visualiza en un futuro muy próximo la expansión hacia el Sur y el Este de la microcuenca.

La destitución paulatina del bosque en las últimas tres décadas, la política de cultivar café sin sombra y la existencia de amplias áreas bajo pastos, han alterado el sistema hidrológico y han acelerado los procesos de erosión y por ende contribuye con mayores niveles de sedimentación y de caudal de la quebrada Estero. Esto último en especial es el reflejo de la pérdida de profundidad que presenta una laguna (El Laguito), que se ubica en la parte media de la microcuenca, cerca de las instalaciones de la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica.

La expansión de la ciudad por medio de la urbanización y otras poblados están contribuyendo también con un mayor nivel de escurrimiento superficial en menos tiempo hacia la quebrada, aparte de que aumenta los niveles de sedimentación. Asimismo, el hecho de que sobre la margen de la quebrada existan viviendas, la posibilidad de que ocurran inundaciones en la época lluviosa o durante los temporales o disturbios tropicales es aún mayor.

Si los cambios en el uso de la tierra continúan al ritmo que se ha manifestado en los últimos 20 años, algunos sectores de la ciudad de San Ramón podrían afrontar serios problemas con las inundaciones, especialmente si no se sigue una política de ordenamiento territorial adecuado por parte de las autoridades locales.

CAPITULO III

EVALUACION AMBIENTAL

La información contenida en este capítulo es esencial para la comprensión de la dinámica del medio físico y su relación con las inundaciones. Se evalúan las condiciones geomorfodinámicas (topográficas, geológicas), edáficas, climáticas e hidrológicas existentes en la microcuenca en estudio.

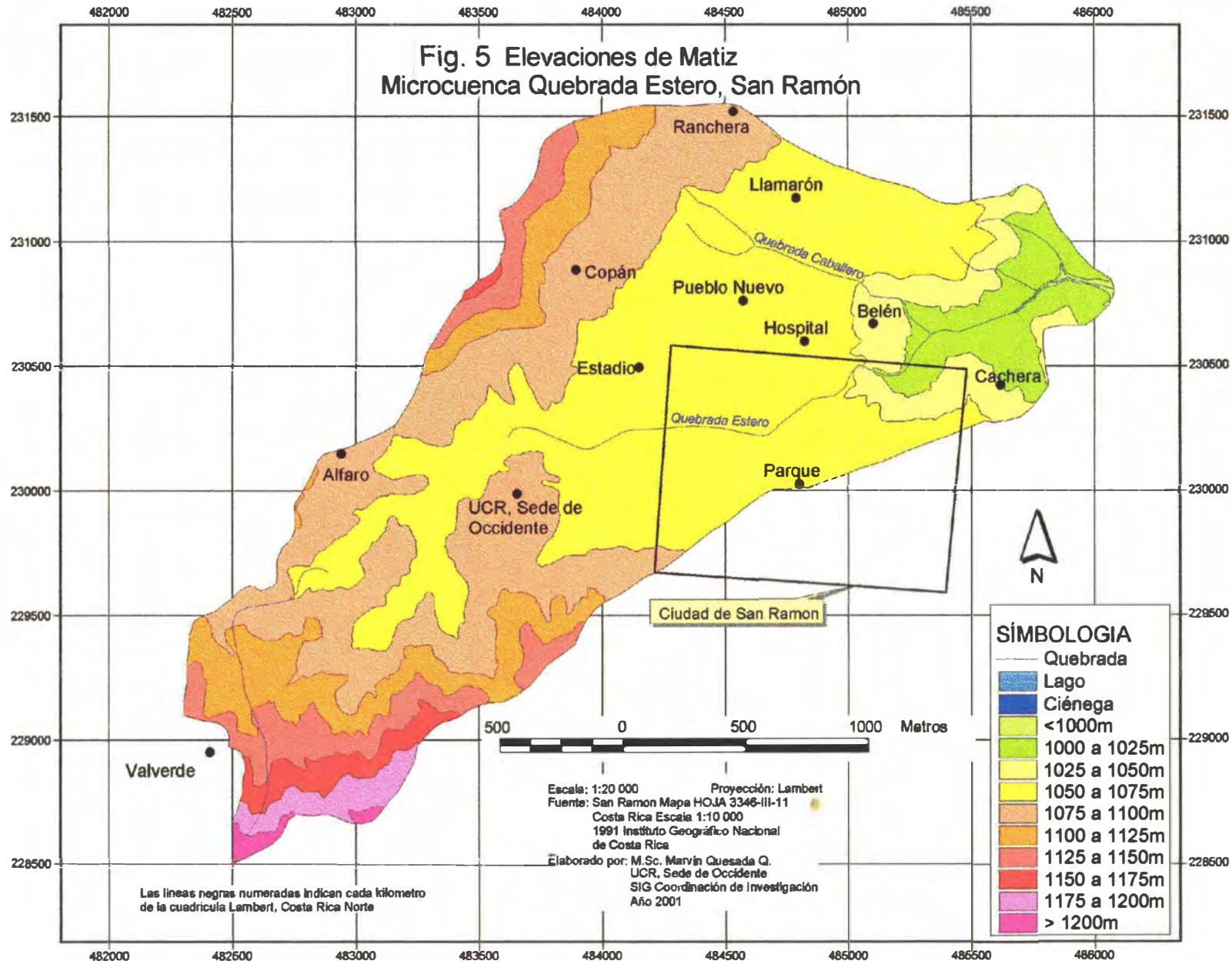
3.1. Condiciones Geomorfodinámicas

Las condiciones geomorfodinámicas definen la forma de la cuenca, el relieve, la estructura de los ríos y las formaciones superficiales. Estos aspectos pueden variar en forma conjunta o aislada, ya sea por elementos naturales o por la acción antrópica, siendo determinantes en los patrones de retención de agua dentro de una cuenca hidrográfica.

3.2. Análisis topográfico

En la figura N° 5 se muestra las diferentes categorías de elevaciones existentes en la microcuenca Estero. El área de estudio presenta elevaciones que giran entre los 950 y 1230 m.s.n.m. Tanto la parte superior como en las inmediaciones de la desembocadura, a partir del sitio conocido como El Salto Estero, existen algunos sectores con una topografía irregular, con pendientes entre un 20 y 30 % e incluso un pequeño sector con pendientes de un 40 %. Otros sectores de la parte alta tienen pendientes entre un 10 y 20 %. Se presentan también sitios ondulados principalmente en las márgenes de quebrada.

**Fig. 5 Elevaciones de Matiz
Microcuenca Quebrada Estero, San Ramón**



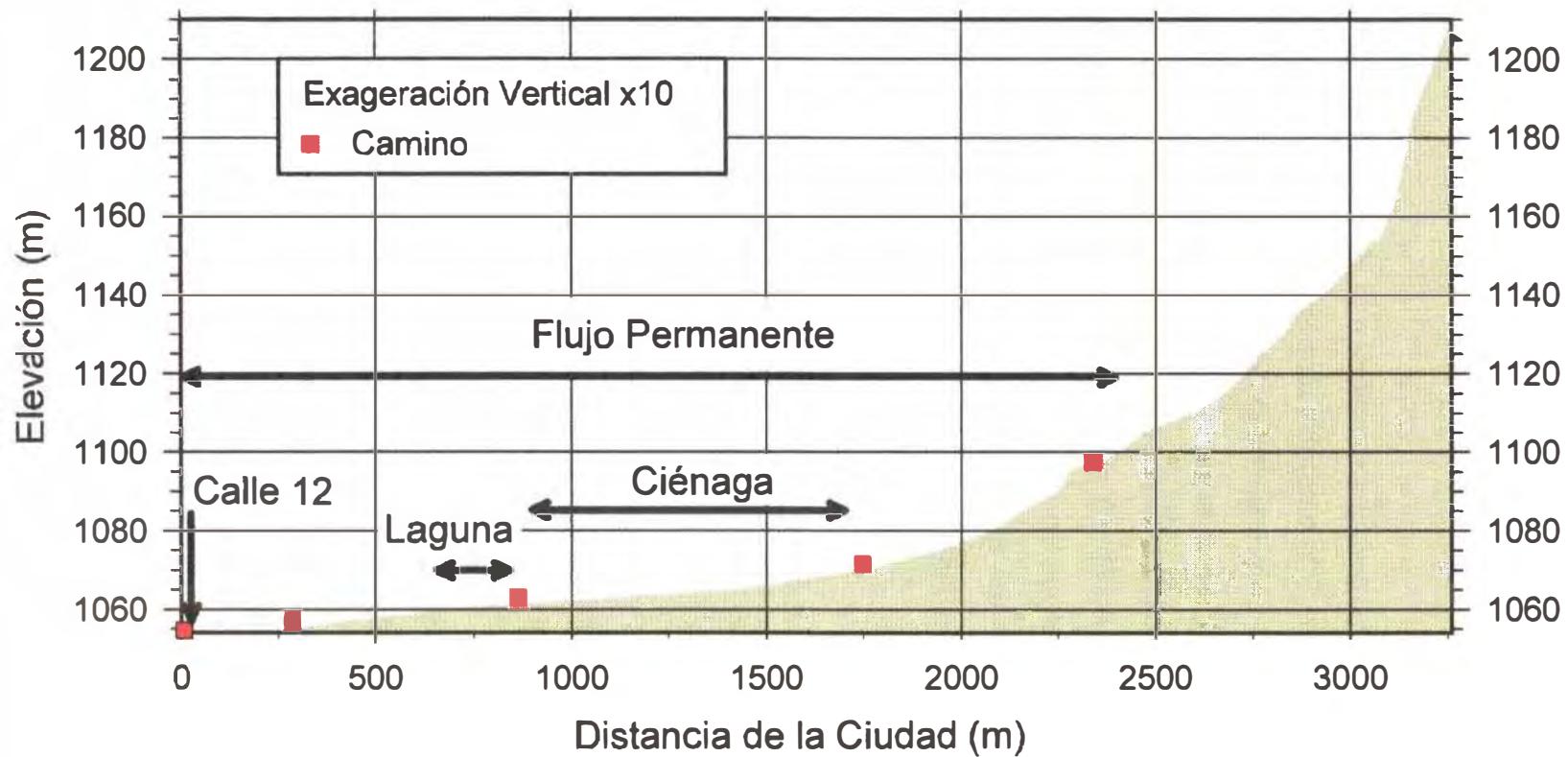
La parte media donde se encuentra la ciudad de San Ramón tiene pendientes inferiores al 10 %, o sea se ubica sobre una planicie de inundación (Figura N° 6). A pesar de no presentar pendientes muy fuertes en su parte superior para ser considerada una microcuenca con características de torrente, presenta una llanura de inundación con condiciones propicias para que se produzcan inundaciones.

Cuadro N° 8. Características topográficas de la microcuenca Estero

Variable	Valor
Area	5 km ²
Altitud máxima	1230 *
Altitud mínima	950 *
Altitud media	1090 *
Pendiente media	20%

De acuerdo con los datos anteriores, la microcuenca Estero presenta un alto porcentaje de sus elevaciones que varían entre 1050 y 1075 m.s.n.m., lo que demuestra que posee un amplio sector muy plano que puede ser inundado, dadas sus características topográficas. Estas condiciones altitudinales definen en gran medida las características del uso de la tierra, las cuales han contribuido de manera significativa al fuerte incremento poblacional.

Fig. 6 **PERFIL LONGITUDINAL DEL CANAL PRINCIPAL
DE LA QUEBRADA ESTERO**



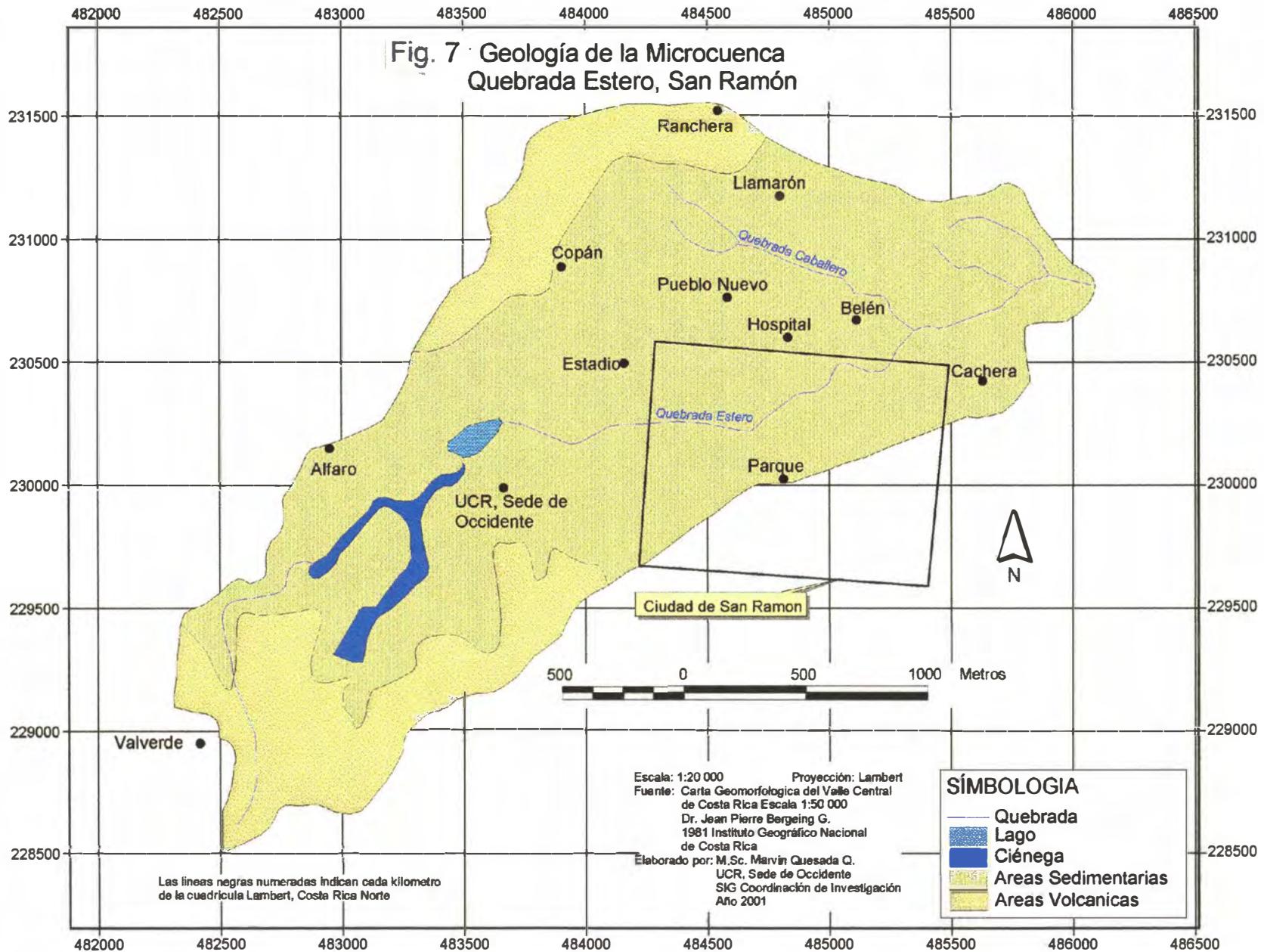
3.3. Condiciones Geológicas y Geomorfológicas

El proceso geológico de la microcuenca Estero tuvo sus orígenes en la época del Terciario Superior y se consolidó durante el Cuaternario. La Formación Aguacate es determinante en la consolidación del área de estudio, dado que como producto de su actividad contribuyó con la formación del valle donde se encuentra la ciudad de San Ramón y sus alrededores. Similarmente, las coladas de lava, ignimbritas y tobas provenientes de la Cordillera Central bloquearon el colector principal, produciendo una acumulación de aguas y dando origen a un lago de gran extensión. Posteriormente, dicho lago se rellenó en forma parcial con materiales de origen piroclástico, andesítico, ignimbrita, tobas y cenizas provenientes del macizo central (Vargas, 1978).

Esta condición se visualiza en la microcuenca por la presencia de materiales de color café, blancuzco y grisáceo. Igualmente, otros indicios de que en algún momento de la historia geológica del territorio ramonense existió un lago, es la presencia de algas silíceas en ciertos cortes de caminos. Dichos sectores cuentan con columnas estratificadas, donde se visualizan represamientos locales constituidos por ignimbritas, tobas y con arcillas típicas de formaciones lacustres.

Por consiguiente, desde el punto de vista geológico en la microcuenca Estero se pueden reconocer dos formaciones: la Aguacate y una antigua área Lacustre (Fig. N° 7),

Fig. 7 Geología de la Microcuenca
Quebrada Estero, San Ramón



3.3.1. Formación Aguacate

Esta formación que es de origen volcánico se originó durante el Terciario, siendo estos los materiales más antiguos existentes en el área de estudio. Se componen de materiales como brechas volcánicas, tobas, ignimbritas, lavas andesíticas y andesito-basálticas (Castillo, 1969). Los sectores con pendientes mayores al 20 % se caracterizan por estar conformados por materiales del Grupo Aguacate. La existencia de esta formación se visualiza en las vertientes de la parte alta de la microcuenca y sobre todo donde las laderas son más pronunciadas.

Vargas (1978) señala que el valle donde se ubica la ciudad de San Ramón y algunos distritos entre ellos Alfaro está conformado, en parte, por coladas de lava, piroclastos y tobas de deposición aérea. Estos concuerdan con otras áreas del Valle Central, las cuales fueron parcialmente cubiertas por sedimentos aluviales, piroclastos, cenizas no consolidadas y lahares.

En el distrito de Alfaro se observan lavas andesíticas y basálticas con algunas intrusiones de diques de similar composición de color pardusco, gris y gris oscuro, de grano medio y fino muy fracturadas, diaclasas y de textura porfirítica y en un alto porcentaje se encuentran meteorizadas (Vargas, 1978). En las márgenes de la quebrada en la parte alta de la microcuenca se pueden localizar brechas volcánicas con fragmentos de lava andesítica con colores grises, pardos y negros y de una variedad de tamaños desde pocos centímetros hasta algunos de un metro y de formas redondeadas y angulares.

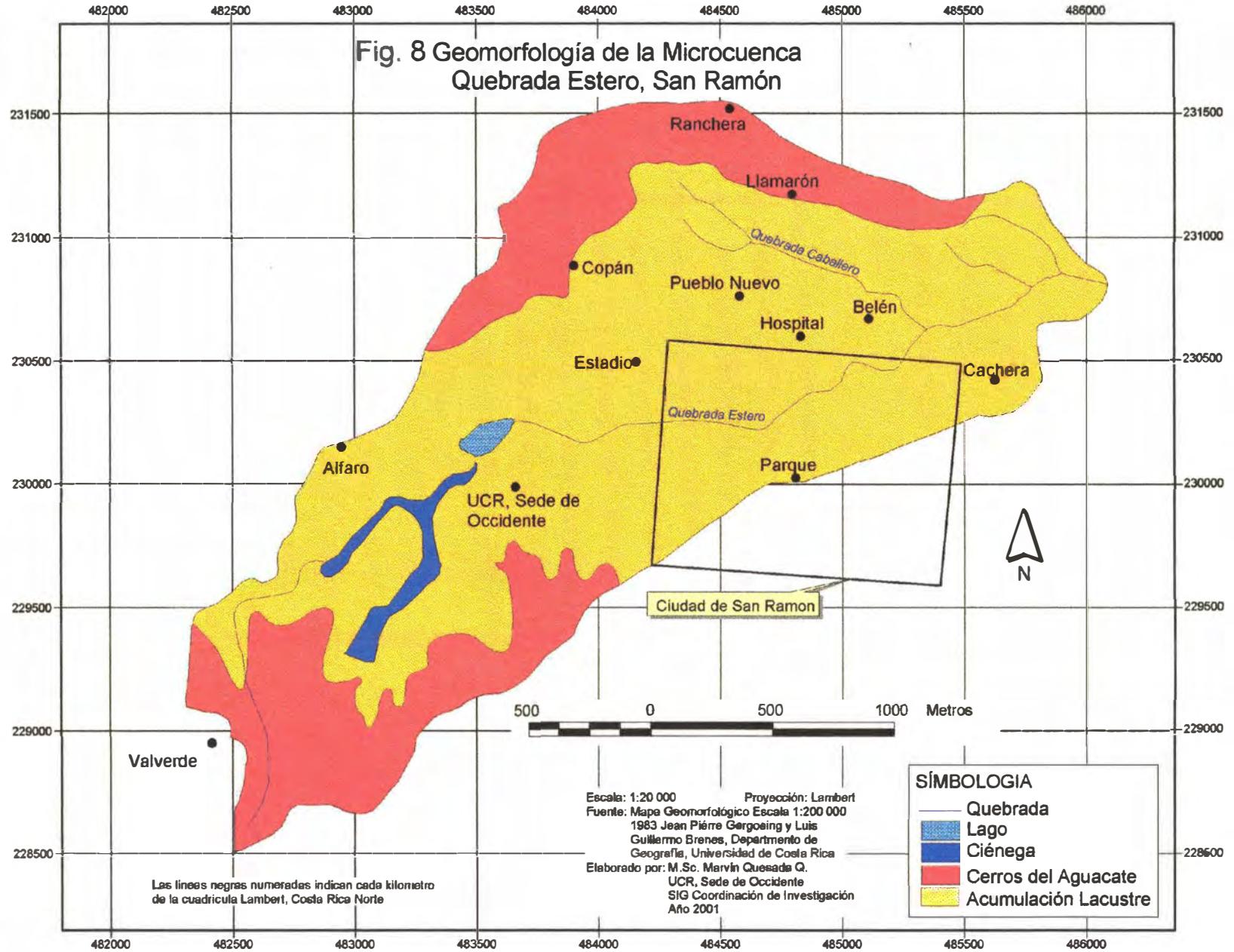
La formación de toba que se encuentra en el área de estudio es parte de la formación Aguacate y de los depósitos de avalancha provenientes del macizo Central (Vargas, 1978). Esto contribuyó a que se formara un relieve con una topografía relativamente plana.

3.3.2. Antiguas áreas lacustres

Los materiales lacustres se componen de sedimentos detríticos, de color variable (blanco, gris y café claro), con granos medios y finos o arcillo limosos y con fragmentos de piedra pómex de color blanco en estratos poco inclinados que van desde pocos centímetros hasta cerca de 20 centímetros.

Existe un predominio de pendientes suaves compuestas por materiales de origen lacustre y piroclastos depositados en forma uniforme pero muy erosionados en el sector medio de la microcuenca. En esta parte de la microcuenca el relieve es inclinado en la proximidad de las quebrada Estero y Caballero el resto de la microcuenca es muy plano. En otros sectores de la microcuenca es posible encontrar otro tipo de estratificaciones con delgadas capas de material lacustre que posiblemente están compactadas, dado que un alto porcentaje de los materiales presenta formas redondeadas (Fig. N° 8).

Fig. 8 Geomorfología de la Microcuenca Quebrada Estero, San Ramón



En aquellos sectores que todavía no han sido urbanizados es posible observar materiales volcánicos, especialmente compuestos por piroclastos e ignimbritas, los cuales son muy oscuros, generalmente fragmentados de textura escoriácea con espesores de 0.2 a 2 metros. Aunque, dependiendo del sector, existen variaciones en la consistencia de los materiales, que se debe posiblemente a la diferenciación en la solidificación. Por ejemplo, en algunos casos aparecen tobas en otros ignimbritas, de ahí que se le llame materiales ignimbritico-tobáceos.

En resumen, en el área de estudio se puede encontrar una alternancia de materiales provenientes, tanto de la Cordillera Central como de la formación Aguacate que son de origen volcánico, que por su naturaleza están constituidos por limos, cenizas y son fácilmente erosionables. Tanto por condiciones naturales como antrópicas, se ha dado un arrastre de materiales superficiales hasta el valle de la quebrada Estero. De acuerdo con lo mostrado en el mapa geomorfológico del sistema fluvial del Tárcoles (Instituto Geográfico Nacional, 1983) durante la época del Pliestoceno, tanto lo que es actualmente San Ramón como Palmares estaban conformados por un lago, de ahí que sean una zona muy plana y constituida por diversos materiales.

Es frecuente encontrar en el área de estudio materiales arcillosos de origen lacustre que cubren las formaciones de ignimbritas y tobas. Estas características geomorfológicas indudablemente son determinantes en la ocurrencia de inundaciones en la microcuenca Estero. La existencia de laderas fácilmente erosionables e inclinadas, permite que la quebrada en períodos lluviosos manifieste caudales altos, los cuales al llegar a la planicie de inundación se derraman, afectando un amplio sector residencial y comercial.

3.4. Condiciones edáficas

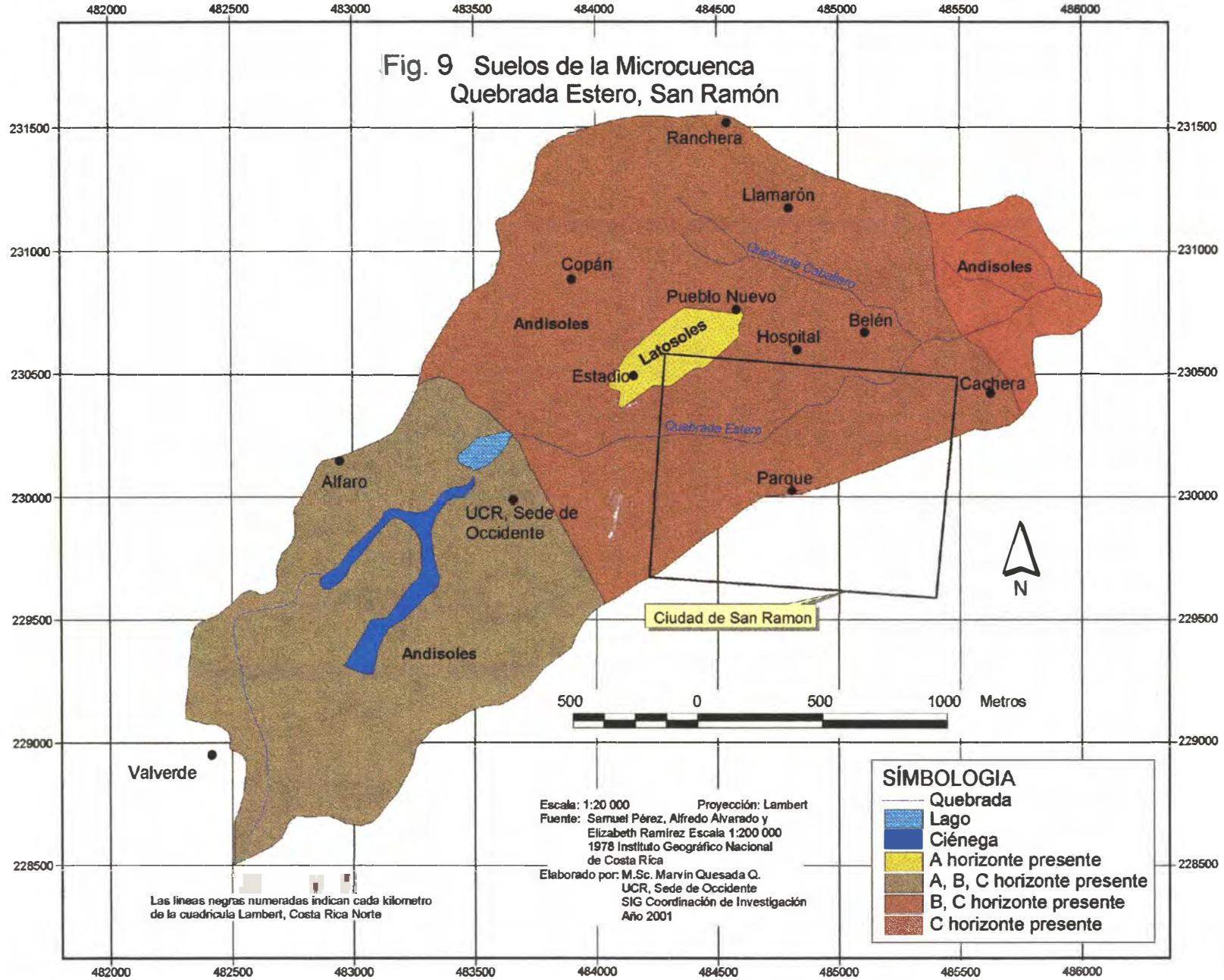
Las condiciones edáficas se encuentran asociadas a las características geológicas y a su interacción con factores exógenos. Desde el punto de vista hidrológico, las características de los suelos son de especial importancia, por cuanto son el elemento que determinan el proceso de infiltración de las aguas.

La microcuenca Estero es muy uniforme en cuanto al tipo de suelos, estando prácticamente toda el área cubierta por andosoles, típico de áreas con mucha humedad, en su composición existen materiales volcánicos como son las cenizas. En un pequeño sector del curso medio, al noroeste de la ciudad existen latosoles que se caracterizan por ser poco profundos y muy arcillosos.

Las condiciones edáficas expuestas se demuestran con estudios efectuados en el Valle Central (Castillo, 1969; Pérez y otros, 1978 y Vargas, 1978) y de acuerdo al sistema de clasificación taxonómica de suelos de la Séptima aproximación. En el área de estudio se pueden reconocer especialmente los Typic Dystrandpt, del orden de los Inceptisoles o Andosoles (U. S. Department of Agriculture, 1975), que se caracterizan por ser suelos oscuros y profundos con buen contenido de materia orgánica. Se asocian con suelos de textura gruesa y baja saturación de bases y normalmente se encuentran en zonas altas.

En la microcuenca Estero básicamente se pueden observar estos suelos en tres formas. (Fig. N° 9).

Fig. 9 Suelos de la Microcuenca Quebrada Estero, San Ramón



En la parte alta se tienen suelos que normalmente tienen los tres horizontes (A,B Y C), mientras que en la parte media y parte de la baja, predominan los horizontes B y C y cerca de la desembocadura domina el horizonte C. El perfil A es de color negro con abundante acumulación de cenizas volcánicas y material orgánico sobre un horizonte B de color rojizo y éste a su vez sobre un horizonte C de color grisáceo a blanquecino de drenaje regular a malo. Esto se debe al alto contenido de arcilla. Estos suelos se encuentran en los sectores medio y bajo de la microcuenca.

De las características descritas anteriormente se puede inferir que una parte de estos suelos presenta condiciones adecuadas de permeabilidad y drenaje, mientras que otra presenta condiciones arcillosas que cuando se producen excesos de precipitación, el suelo se satura y no logra infiltrar la totalidad de las aguas, produciéndose altos niveles de escorrentía superficial, lo cual favorece la aparición de las inundaciones en aquellos períodos de intensas precipitaciones.

3.5. Condiciones Climáticas

Las condiciones climáticas de la microcuenca Estero son producto de la interacción de diferentes factores, entre los que se pueden destacar la latitud, la condición ístmica, la altitud y el relieve. La ubicación de Costa Rica en los trópicos, a una latitud promedio de 10° Norte, determina en gran medida las condiciones generales del clima, con características como las altas temperaturas y humedad relativa; influenciada por diferentes tipos de vientos, abundante precipitación durante algunos años y un alto porcentaje de horas solares, entre otros.

La condición Ístmica y por ende la cercanía al océano Pacífico y al Mar Caribe y la fuerte radiación solar, hacen que el ciclo hidrológico sea muy activo con procesos intensos de evaporación, condensación y precipitación. Al mismo tiempo, el sistema montañoso que cruza el país de Noroeste a Sureste forma una barrera topográfica importante que impide la circulación de las masas de aire provenientes de ambos océanos, excepto en aquellos casos que existen aberturas o pasos entre las distintas secciones topográficas.

Al existir esta cordillera las masas de aire provenientes de uno u otro de los sectores marítimos se acumulan en los flancos a barlovento y parte de estas logran pasar a través de los pasos, teniéndose dos vertientes con características climáticas muy diferentes:

- a) La vertiente Caribe con un clima ecuatorial caracterizado por presentar altos niveles de precipitación durante todo el año, sin una estación seca definida.
- b) La vertiente Pacífica con un clima tropical, que se distingue por dos períodos, uno seco y otro húmedo bien definidos.

En el caso de la microcuenca Estero por ubicarse en el Valle Central Occidental se asemeja más a las características presentes en la vertiente Pacífica, pero está muy influenciado por el Caribe, dada la existencia de pasos montañosos que permiten la penetración de vientos, como son los pasos de Laguna y Arenal-Los Ángeles que muy frecuentemente modifican el tiempo en San Ramón.

Dada la altitud y la posición de dicha microcuenca los niveles de precipitación normalmente son moderados y las temperaturas son más bajas que los lugares vecinos como Palmares y Naranjo. En San Ramón influyen tanto los vientos Alisios del Noreste que ingresan por el Caribe como los vientos Oestes

ecuatoriales que ingresan por la costa Pacífica. De ahí que haya una entrada constante de humedad a la región de San Ramón. Estos vientos son los encargados de definir los dos períodos, el seco y el húmedo.

El período seco inicia en diciembre y finaliza en marzo como consecuencia de la influencia de los vientos Alisios del Noreste, mientras que el período húmedo se inicia en mayo y termina en octubre como producto de la influencia de los vientos Oestes ecuatoriales y los meses de abril y noviembre son meses de transición (Fig. 10).

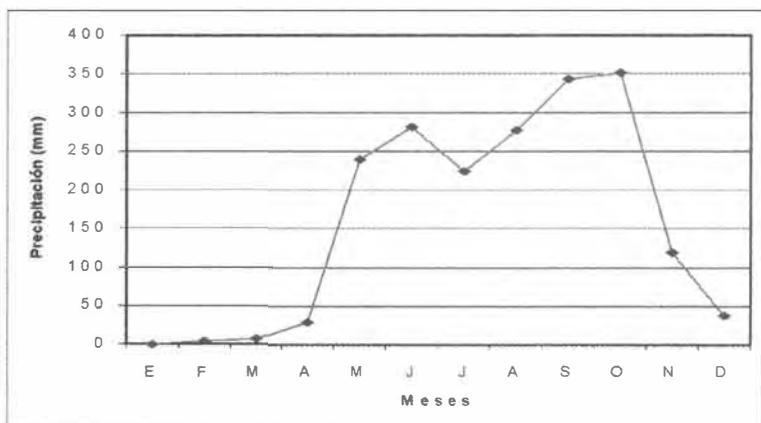
FIG. N° 10. PRECIPITACION PROMEDIO MENSUAL
Subestación San Ramón

Nº 084027

Longitud: 84° 28' 00"

Latitud: 10° 05' 02"

Altitud: 1061



Fuente: IMN, 1988.

Normalmente, hay dos recessiones de lluvias conocidas como veranillos que se presenta entre los meses de julio y agosto como una breve interrupción de la estación lluviosa (Ramírez, 1986).

En general, en San Ramón de acuerdo con los registros del I.M.N (1988) el mes más seco es enero y el más lluvioso es octubre, aunque en algunos años se han dado excepciones en ciertos meses. Para citar un caso en 1966 el mes

más lluvioso fue agosto con 457.5 mm, mientras que octubre solo registró 301.5 mm.

De lo anterior se puede deducir que en San Ramón el régimen estacional de precipitación presenta una alta variabilidad temporal y espacial y de ahí que haya sido afectado por abundantes precipitaciones durante ciertos años. Además, en los desbordamientos que se han suscitado en la microcuenca Estero han influido otros elementos como el relieve, el uso de la tierra y el tipo de drenaje, entre otros.

3.6. Condiciones de la Red de drenaje

El drenaje lo compone básicamente la quebrada Estero con un afluente, la quebrada Caballero y varios afluentes intermitentes que acarrean aguas hasta el cauce principal solamente durante la época lluviosa. La quebrada Estero mantiene su nivel de estiaje durante los meses de febrero y marzo. Uno de los mayores aportes lo constituyen las aguas residuales provenientes de los usos domésticos, comercios y servicios existentes en la microcuenca. En el período lluvioso aparte de este tipo de aguas, hay un mayor caudal como producto de las precipitaciones pluviales.

La irregular topografía existente en la parte alta de la microcuenca permite la presencia de afluentes intermitentes durante la época lluviosa. Durante la estación seca es muy difícil que estos cauces mantengan algún caudal dado el uso de la tierra presente en éste sector de la microcuenca, caracterizado por la poca cobertura forestal, lo que induce a que durante la época lluviosa las aguas escurren hasta la quebrada, sin que ningún elemento físico o forestal impida su movimiento o ayude con su percolación.

La parte media y baja de la microcuenca presentan una topografía regular y con características de drenaje diferentes. Dada la alta urbanización existente, la mayoría de los colectores de agua están entubados, ocasionando que el escurrimiento superficial alcance muy rápido el colector de la quebrada y cuando persisten lluvias por varias horas el nivel del cauce de la quebrada, a veces, no tiene capacidad suficiente para albergar todo el caudal.

En general, la microcuenca al componerse de dos colectores principales: Estero y Caballero contribuye a que se produzcan condiciones particulares de drenaje, que a su vez definen áreas geográficas claramente diferenciadas, una irregular con afluentes intermitentes y la otra plana sin afluentes.

Por lo tanto, la quebrada Estero, a pesar de tener un corto recorrido, tiene una rápida respuesta ante eventos de precipitación pluvial, rebalsando el cauce, en algunos casos, en pocas horas. Las características del uso de la tierra permiten que las aguas de lluvia lleguen hasta los cauces por escorrentía superficial en poco tiempo. Esta condición es muy notable en la parte alta de la microcuenca donde existe una ciénaga que almacena gran cantidad de precipitación y la deposita directamente al cauce de la quebrada Estero. En la parte media por estar muy urbanizada se produce un rápido escurrimiento hasta su cauce y en la sección inferior de la quebrada las aguas escurren velozmente dada la irregular topografía del cauce.

En síntesis, la quebrada Estero pese a su escaso recorrido presenta condiciones óptimas para que se produzcan inundaciones, especialmente cuando ocurren temporales, lluvias fuertes o disturbios atmosféricos que afectan directa o indirectamente a Costa Rica. Desafortunadamente, no se cuenta con datos específicos de precipitación diaria y de caudales dentro del área de estudio que permitan mostrar claramente la influencia que podrían ocasionar estos eventos sobre el territorio de la microcuenca.

CAPITULO IV

EVALUACION DEL RIESGO DE INUNDACIONES

Las inundaciones son eventos originados por el desbordamiento de un curso fluvial o flujo de agua que se produce cuando se superan los niveles naturales o artificiales de su cauce. La causa principal del aumento de los niveles fluviales es la lluvia, la cual es inevitable y propia de una cuenca hidrográfica, con características morfológicas, hidrológicas y edafológicas determinadas. Por lo tanto, los caudales de un curso fluvial pueden incrementarse por la influencia de variables biofísicas y aquellas de carácter eminentemente humano, tal es el caso de un uso inadecuado de la tierra. Entre los factores que causan las inundaciones en el área en estudio están:

4.1. Factores Meteorológicos

Las inundaciones en la microcuenca Estero han sido provocadas en primera instancia por fenómenos de tipo meteorológico y de tipo sinóptico. O sea han intervenido situaciones que van desde lluvias muy fuertes de poca duración hasta aquellas continuas por más de 24 horas de duración, inclusive por varios días que por lo general son de intensidad moderada pero persistentes.

En la zona de San Ramón las causas más comunes que dan paso a la ocurrencia de fenómenos de fuerte o moderada intensidad y que provocan lluvias son:

- a) La influencia temporal de los vientos oestes ecuatoriales.
- b) El desplazamiento temporal de la Zona de Convergencia Intertropical (ZICT) sobre Costa Rica.
- c) Los vientos Alisios del Noreste que logran pasar eventualmente a través de los pasos montañosos.

- d) La penetración eventual de frentes frios en los meses de noviembre, diciembre o en enero y febrero.
- e) La incursión de disturbios atmosféricos, tormentas y huracanes tropicales.

4.2. Factores hidrológicos, geomorfológicas y edáficos

Las características físicas como la pendiente, la geomorfología existente en la parte alta de la microcuenca y el uso de la tierra caracterizado por la escasa aplicación de técnicas de conservación de suelos son determinante^s en el comportamiento hidrológico de la microcuenca. Estos factores han variado la capacidad de infiltración, la evaporación y la escorrentia. La geoforma presente en la parte superior con una ciénaga inducen a la acumulación de las aguas durante periodos lluviosos.

Similarmente, el trayecto que abarca del Laguito al Porvenir muestra una pendiente inclinada que permite al agua encausarse con mayor velocidad. Cuando hay aumentos en el nivel de los caudales, la capacidad hidráulica del cauce no es suficiente para albergar excesos de flujo, los cuales al llegar a la planicie ocasionan desbordamientos en las márgenes adyacentes a la quebrada (Foto N° 4).

Por otra parte, cuando ocurren precipitaciones persistentes por varios días los niveles de caudal pueden salirse y abarcar hasta doscientos metros en ambos lados de la quebrada en la Urbanización El Porvenir (Foto N° 5) y cuando las precipitaciones son intensas por algunas horas se producen encharcamientos en algunos sitios cercanos a las quebradas Estero y Caballero, especialmente en aquellos sitios donde el terreno es arcilloso o donde existe un nivel por debajo de las carreteras (Foto N°6).



Foto No. 4

La capacidad hidráulica del cauce del Estero al llegar a la planicie ocasiona desbordamientos en sus márgenes (foto tomada por Marvin Quesada).

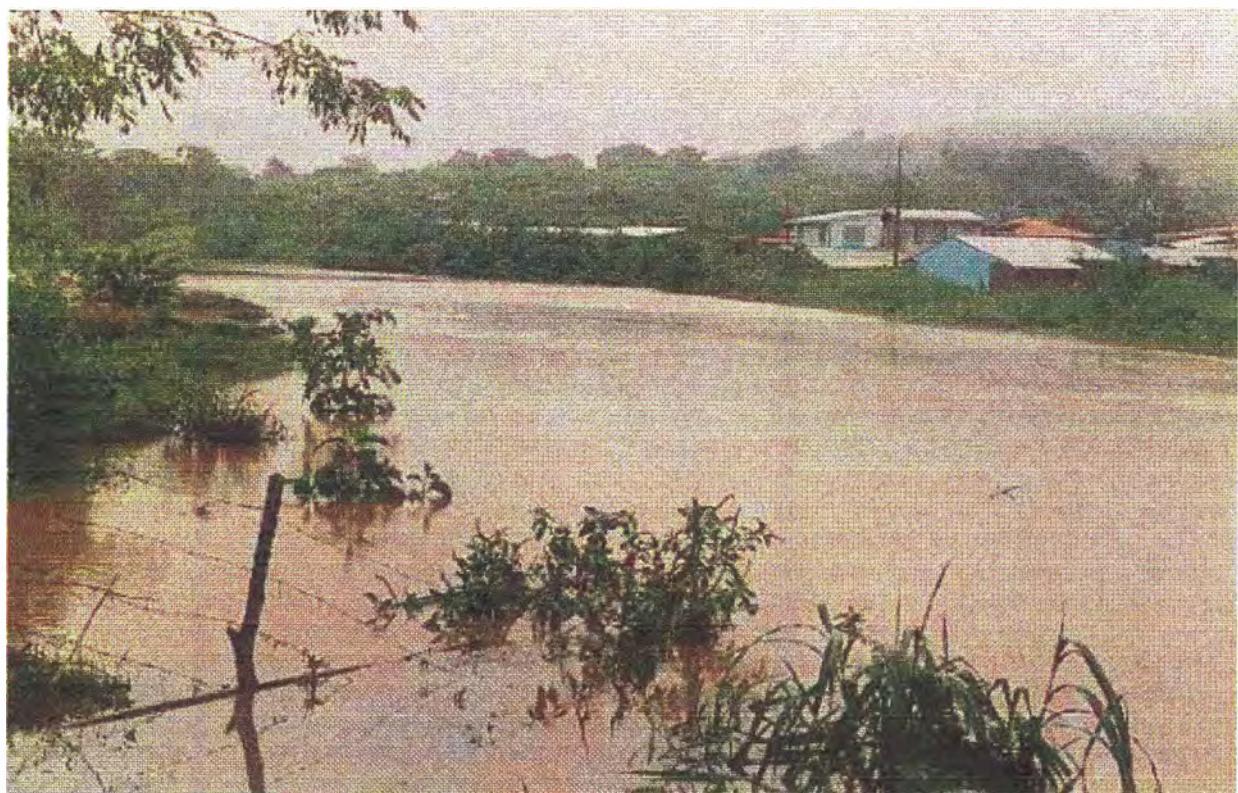


Foto No. 5

Las precipitaciones persistentes por varios días inundan gran parte de la planicie (foto tomada por Marvin Quesada).



Foto No. 6

Algunos sectores aún sin urbanizar tienen suelo arcillosos, favoreciendo así los encharcamientos (foto tomada por Marvin Quesada).

Los pocos sectores que aún quedan sin urbanizar muestran un tipo de suelo caracterizado por una formación lacustre con presencia de arcilla, siendo éstos relativamente impermeables, produciéndose así muy poca infiltración del agua durante las intensas o persistentes precipitaciones.

4.3. Características socioeconómicas

Para que se produzcan inundaciones en una cuenca hidrográfica también interviene la forma de ocupación del espacio. El uso de la tierra es determinante en el proceso de escorrentía superficial existente en la microcuenca.

En los últimos veinte años la microcuenca ha tenido una transformación acelerada en el uso de la tierra. El bosque ha sido eliminado prácticamente en su totalidad para dar paso a cultivos, pastos, áreas comerciales y residenciales, entre otras.

Gran parte del sector alto de la microcuenca ha tenido un uso del suelo dominado por pastos, los cuales ejercen un papel de poca retención de la lluvia. Esto induce a que cuando se producen lluvias fuertes sobre la zona, estas escurran en un alto porcentaje hasta el curso fluvial. De esta forma, en pocas horas la pequeña quebrada excede su capacidad y se desborda, provocando daños sobre todo en aquellos sectores planos de la ciudad de San Ramón.

En San Ramón, la organización del espacio ha respondido a criterios socioeconómicos. Es así como éste ha sido utilizado para la agricultura, para el comercio, los servicios y especialmente para la construcción de viviendas y no se ha pensado en preservar áreas para bosque o recreación con el fin de protegerse contra las inundaciones o la pérdida de los suelos.

La variación que se muestra en el uso de la tierra en los mapas de los diferentes períodos de análisis, indican cómo los precios y los niveles de rentabilidad han determinado el tipo de cultivo, en unos años se nota cómo el café tuvo su prioridad, en otros fue la caña de azúcar e incluso en algunos momentos se le dio importancia a las hortalizas, pero básicamente la prioridad ha sido la construcción de infraestructuras para diversos usos ya sea habitacionales o comerciales.

Las prácticas agrícolas existentes en la microcuenca han seguido los criterios de los mercados y de las campañas publicitarias de emplear productos agroquímicos para eliminar las malezas o para abonar los suelos, dejando los suelos descubiertos. La mayoría de los cultivos se siembran sin utilizar prácticas agrícolas que impidan la erosión de las vertientes, tal es el caso del café el cual al estar bajo un uso intensivo se le ha eliminado los árboles para sombra. Esto ha ocasionando una erosión en los suelos al dejarlos prácticamente desnudos, sobre todo cuando hay aguaceros de gran intensidad produciéndose un arrastre de sedimentos hasta los cauces de la quebrada.

De esta forma la escorrentía superficial es cada día más intensa, aumentando así, la probabilidad de inundaciones Además, en los cortes de camino es frecuente encontrar deslizamientos en períodos húmedos, reflejándose así un desequilibrio de las vertientes y el deterioro de las condiciones físicas de los suelos de la región, los cuales vienen a engrosar los caudales de la quebrada en períodos lluviosos. Por otro lado, en la microcuenca ha habido un aumento acelerado de la población. No solo se ha poblado la periferia de la ciudad sino que también se ha generado una demanda extra de terrenos que estaban ocupados por cultivos, pastos y bosque. Se han ocupado sectores de la microcuenca que son inadecuados para construcciones como son terrenos con pendientes inclinadas, situación que se manifiesta, sobre todo, en la parte baja del área de estudio en las cercanías del poblado de nombre La Cachera (Foto N° 7).



Foto No. 7

Áreas inclinadas bajo bosque han sido eliminadas para construir residencias (foto tomada por Marvin Quesada).

Unido al uso que se le ha dado a la tierra en los últimos veinte años, también se pueden encontrar dentro del área en estudio otros factores intensificadores de las condiciones de inundación, entre las que se destacan las siguientes:

4.4. Impermeabilización del suelo por la expansión urbana

El proceso de expansión urbana que se ha suscitado en San Ramón es determinante en el aumento del riesgo de inundación. Esto se puede explicar por el hecho de que ha habido un cambio radical en el uso de la tierra como se indicó anteriormente. Ciertos usos de la tierra dedicados a cobertura vegetal y cultivos se cambiaron a usos eminentemente urbanos (viviendas, residenciales, barrios, áreas comerciales, servicios, etc.).

Este tipo de uso ha reducido considerablemente la capacidad de infiltración de los suelos de la microcuenca y por ende se ha acelerado la escorrentía superficial durante la época lluviosa. Al llover el tiempo de concentración del agua se reduce y se dirige a los canales o desagües con mayor rapidez, acelerándose los flujos superficiales de los drenajes urbanos.

A pesar de que en la microcuenca Estero no existen redes de medición de caudales, es posible detectar inmediatamente después de un aguacero el aumento significativo en la respuesta hidrológica. En algunos casos los canales de escurrimiento y los tragantes no cuentan con la capacidad para almacenar el agua llovida, escurriendo gran parte de ésta por las calles y aceras de algunos sectores cercanos a la quebrada Estero, especialmente en el centro de la ciudad de San Ramón.

4.5. Construcciones sobre el cauce y en sus márgenes

Como parte del proceso de expansión urbana y de la necesidad de vivienda y de otros factores de índole histórico como los que se explicaron en el capítulo I, se han construido viviendas, comercios y servicios sobre el cauce y en las cercanías de éste. La microcuenca Estero se caracteriza por tener una ocupación urbana en todo su sector medio, convirtiéndola en una zona bajo riesgo.

Aunado a ello las características topográficas de este sector lo describen como una zona de inundación por excelencia dado que es una zona muy plana e irrigada por un curso fluvial. Además, el hecho de que la red de drenaje sea poco densa, permite que se edifiquen con más tranquilidad asentamientos humanos.

El proceso de expansión urbana y la eliminación de las áreas boscosas sobre todo en la parte alta de la microcuenca han contribuido a aumentar las avenidas máximas en la quebrada sobre todo durante temporales o cuando hay influencia de huracanes.

La invasión del cauce de la quebrada es otra situación que se ha manifestado en el Estero. Esto no solo implica la construcción de diferentes infraestructuras sobre una planicie de inundación, sino que también se ha hecho sobre la quebrada, impidiendo el paso normal de las aguas, sobre todo en aquellos momentos cuando ocurren altos caudales. De esta forma se incrementen las inundaciones, dado que se ha alterado el curso natural de la quebrada.

4.6. Canalizaciones y alcantarillados insuficientes

La expansión urbana desordenada que muestra San Ramón refleja la ausencia de un plan de ordenamiento territorial. Esto ha llevado a la población a ubicar sus viviendas, comercios, industrias y servicios en los diferentes sitios, sin que en algunos casos se tenga la autorización municipal y en otros se obtiene dicho permiso de construcción pero no se toma en cuenta el posible riesgo al que se exponen.

En algunos casos las edificaciones se hacen sobre el cauce de la quebrada con la sola ubicación de una alcantarilla. Esta situación se ha dado repetidamente cerca del Tremedal y últimamente en la parte alta de la microcuenca.

El problema se agrava más cuando se colocan alcantarillas de diferentes diámetros, situación que se visualiza en varios puntos de la quebrada, ya sea por ignorancia o por ahorrarse dinero se colocan alcantarillas de diámetros muy pequeños. A lo largo de la quebrada no existe un diámetro estándar y un diseño adecuado de las canalizaciones. Indudablemente esto provoca serios problemas de obstrucción, al ser una parte del alcantarillado insuficiente para albergar caudales altos en periodos de fuertes lluvias.

En los últimos años, parte de la población que vive en las inmediaciones de la quebrada acostumbra tirar los desechos provenientes de las pilas, baños, sanitarios y otros servicios domésticos y comerciales a ésta, lo que obstaculiza su capacidad hidráulica. Esto genera una especie de represamiento, el cual ha afectado algunas veces ciertos barrios y sectores de la ciudad, tal es el caso de las viviendas localizadas en las inmediaciones del barrio Pueblo Nuevo (Foto N° 8).



Foto No. 8

Las viviendas descargan aguas residuales de pilas, baños y sanitarios entre otros a la quebrada (foto tomada por Marvin Quesada).

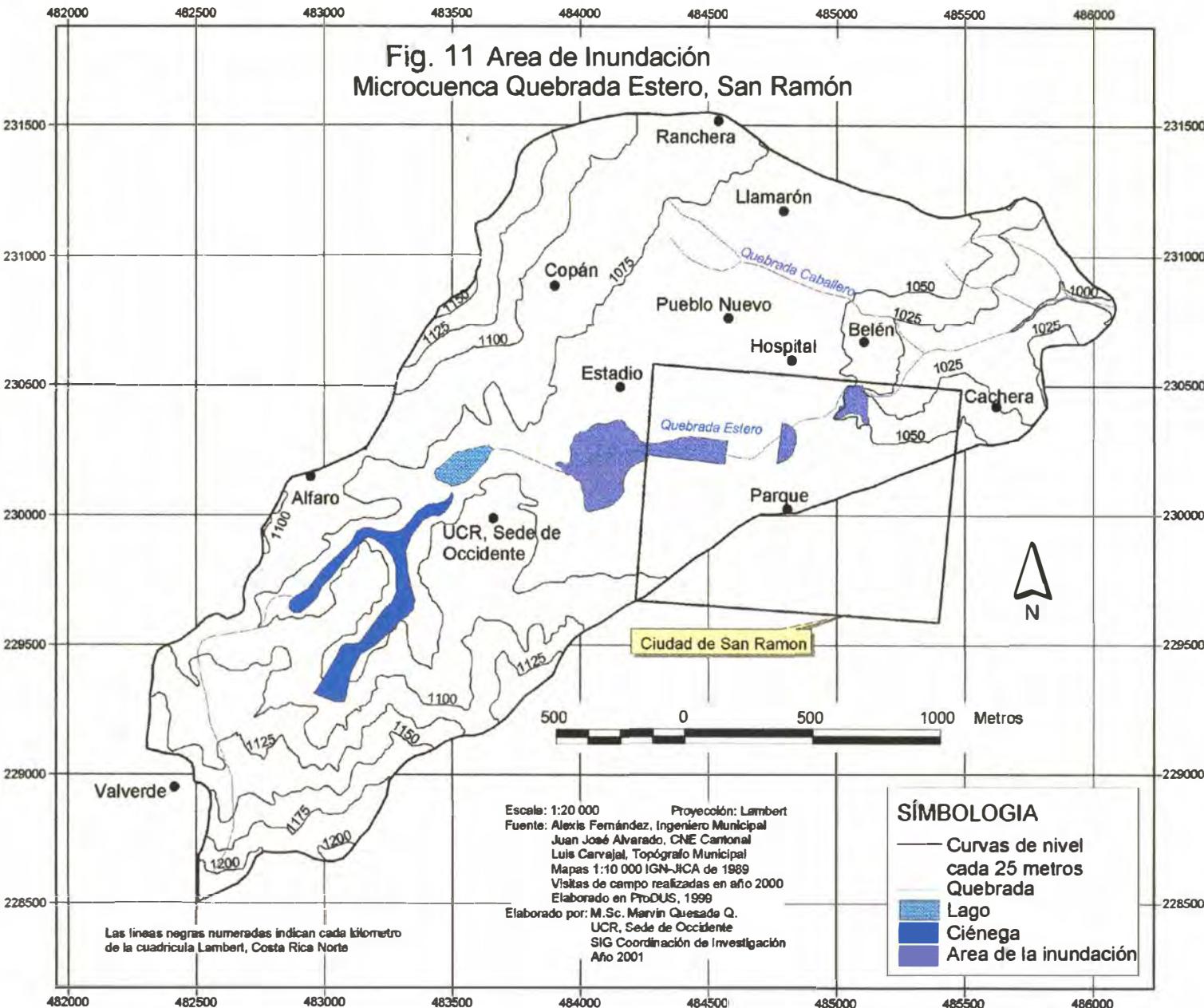
Asimismo, en algunos sectores, especialmente en cruces de carreteras y puentes, ciertos ciudadanos de los vecindarios acostumbran depositar sus desechos sólidos. Estos desechos no sólo son los llamados basura residencial o doméstica, sino que en algunos casos son materiales de dimensiones mayores como catres viejos, latas de zinc, muebles, chatarra de autos, botellas, escombros de ramas, tapias que son lanzadas al cauce, obstaculizando el curso normal del agua. Un ejemplo de ello es muy normal observarlo en el sitio denominado “El Salto”, muy cerca del barrio La Cachera. Estas prácticas inadecuadas de depositar desechos en estos sectores podrían agravar las inundaciones.

4.7. Delimitación espacial de las áreas inundadas

Una vez analizadas las circunstancias, históricas, sociales y naturales que provocan y acentúan las inundaciones es imperativo señalar las áreas que normalmente se inundan. De hecho, esto se hace tomando en cuenta los registros históricos analizados y algunas versiones de líderes comunales, así como las características biofísicas que muestra la microcuenca.

En la figura N° 11 se puede observar que el sector Oeste de la ciudad de San Ramón y que cubre gran parte de la urbanización El Porvenir, el barrio El Tremedal y en ciertos puntos de la ciudad, así como cerca del barrio La Cachera existen áreas que han sufrido inundaciones provenientes de la quebrada Esteros. En estos sectores, primeramente, el modelado topográfico favorece la ocurrencia de inundaciones, en los primeros tres sectores mencionados existe una planicie que es inundada especialmente durante aguaceros intensos o persistentes.

Fig. 11 Área de Inundación
Microcuenca Quebrada Estero, San Ramón



En segundo lugar, en La Cachera existen una serie de viviendas ubicadas en las riveras de la quebrada que han sido inundadas por el hecho de que a esta altura el curso fluvial ha recogido mayor caudal producto de las aguas residuales de gran parte de la ciudad y el afluente principal la quebrada Caballero ha desembocado en su curso inferior. Además, la caída de agua conocida como el salto acelera la velocidad del caudal inundando algunas viviendas de ese caserío sobre todo cuando azotan ciertos huracanes o durante fuertes lluvias.

4.8. Sectores socioeconómicos afectados

Durante los mayores eventos anegadizos que se han suscitado en la microcuenca, el sector residencial ha sido el más afectado, ya que cubre una mayor área. Sin embargo, desde el punto de vista económico han sido los comercios lo que han sufrido mayores pérdidas económicas. El sector agrícola prácticamente no ha tenido pérdidas dado que en su mayoría se dedica a cultivos como el café o caña de azúcar y estos se ubican en la parte superior o alejados de las áreas que normalmente se inundan.

La zona urbana, particularmente las barriadas del Porvenir, el Tremedal y parte de las viviendas que se ubican en las inmediaciones de la quebrada en una extensión que puede cubrir desde los veinte hasta los doscientos metros en ambas márgenes. Como ya se mencionó los sitios más amenazadas son aquellas que se ubican sobre la quebrada y las viviendas que poseen sótano o planta baja, los cuales se encuentran por debajo del nivel de la carretera (Foto N° 6). Estas viviendas pertenecen a sectores sociales bajos y medios (Cordero, 2001).

En segundo lugar, son varios los comercios que han sido afectados por las inundaciones, especialmente por aquellas de gran envergadura como la acaecida en 1974 con el Huracán Fifí. De acuerdo con las entrevistas realizadas a algunos líderes comunales, los principales comercios que han sufrido daños y

pérdidas económicas durante éste huracán y otros son: las farmacias El Pueblo, el Aguila de Oro, la ferretería DIMAR, el edificio donde se ubica el PALI, algunas tiendas, varios abarros, algunos tramos y carnicerías del Mercado Municipal, entre otros.

De la misma forma, algunos servicios han sido afectados, tal es el caso de las Paradas de Autobuses con servicio San Ramón-Puntarenas, San Ramón-San José y la Parada Municipal que cubre las rutas de San Ramón-Palmare-Naranjo y los distritos. Aunque estas aparentemente no han sufrido pérdidas económicas, han tenido que trasladar sus paradas momentáneamente mientras bajan los niveles de las aguas. Esta situación ha sucedido durante la influencia de ciertos huracanes tropicales.

Este proyecto de investigación ha mostrado en forma integral las condiciones influyentes en las inundaciones de la quebrada Estero. De esta forma, se ha podido precisar que la causa de dichas inundaciones depende de distintas variables ambientales como sociales en que están interrelacionadas.

Por lo tanto, este estudio es una base para estudios posteriores, los cuales podrían ser finalmente un aporte más para incentivar un ordenamiento territorial integral del Cantón de San Ramón.

Referencias Bibliográficas

- Acta N° 33 Municipal de San Ramón. 22, setiembre, 1974.
- Acta N° 34 Municipal de San Ramón. 21, setiembre, 1974.
- Acta N° 35 Municipal de San Ramón. 21, octubre, 1950.
- Acta N° 54 Municipal de San Ramón. 21, octubre, 1998.
- Acta N° 137 Municipal de San Ramón. 9, noviembre, 1983.
- Arroyo G. Luis Nelson. "800 millones de afectados". Aportes. 10 – 11 junio, 1991.
- Aronoff, S. Geographic Information Systems: Management Perspective. 1995
- Bandes, Tomás. Control de inundaciones. CIDIAT. Mérida, Venezuela. 1982.
- Bergoeing G, Jean Piere y Malavassi, Enrique. Mapa geomorfológico del Valle Central de Costa Rica. Escala: 1: 150 000. Departamento de Geografía, UCR. 1981
- Brenes Hárold. "Desviarán quebrada El Estero". La Nación. (San José, C.R.) 19, abril, 1999, pág. 20A.
- Bolaños, Hubert. Modelación hidrológica e hidráulica para el control de inundaciones en la Quebrada Gamboa. Proyecto de Graduación UCR. San José, Costa Rica.
- Castro Alexis. "Advierten sobre la amenaza de El Laguito". El Occidente. (San Ramón, C.R.) pág. 5
- Castro Soto, Juan Félix. Contaminación del estero de San Ramón. San Ramón, Alajuela, Costa Rica. 1992
- Idem. Cuales son los problemas relacionados con la contaminación del estero de San Ramón. San Ramón, Alajuela, Costa Rica. 1992
- CATIE. Modelación hidrológica e hidráulica usando HEC –1 y HEC –2. Curso corto. 1991.
- Chacón, José y Sánchez, Arturo. Elaboración de un mapa de riesgo de inundación en Las Juntas de Abangares. Departamento de Obras Portuarias y

Fluviales, MOPT. San José, Costa Rica. 1986.

Castillo M.R. Geología de los mapas básicos Abra y parte norte de Río Grande, Costa Rica. San José, CR. Ministerio de Industria y Comercio. Informe técnico y morfogeológico. N° 33. 40p. 1969.

Cordero Araya, Ulises. Inundación en San Ramón, Alajuela. Octubre 2001 (Comunicación personal)

Díaz Ronald y Vargas Andrés. "Procuran rescate de cuencas". La Nación. (San José, C.R.) 5, junio, 2000, pág. 8A.

Dirección General de Estadística y Censos. Censos de población de 1963, 1973, 1984 y 2000. República de Costa Rica.

Echavarría, Trino. Historia y geografía de San Ramón. San José, Costa Rica. 1966

El Occidente. "Exitoso proyecto de fuerza y luz para rescatar el Virilla". El Occidente. (San Ramón, C.R.). octubre, 2000. pág. 10.

Flórez, Antonio. Génesis y manifestación de las inundaciones en Colombia. Cuadernos de Geografía. Revista del Depto de Geografía. Universidad Nacional de Colombia, Volumen VI, N° 12. 1997.

Gazel, Ivan. Tránsito de avenidas en canales naturales. Proyecto de Graduación UCR. San José, Costa Rica. 1986.

Grandoso, Héctor. Estudio meteorológico de las inundaciones de diciembre de 1970.

HEC. User's Manual HEC –2. US Army Corps of Engineers California, EU. 1990.

Helweg, Otto. Recursos hidráulicos planeación y administración. Editorial Limusa. México D.F. 1979.

"Horror por tragedia". La Nación. (San José, C.R.) 3, noviembre, 1998, pág. 4-6 y 8A.

Instituto Meteorológico Nacional. Catastro de las series de precipitaciones medidas en Costa Rica. Ministerio de Recursos Naturales Energía y Minas. San José, Costa Rica. 1988.

Instituto Geográfico Nacional. Hojas cartográficas. Escala 1: 10 000. Ministerio de

Transportes. San José, Costa Rica. 1991.

Instituto Geográfico Nacional. Hojas cartográficas. Escala 1: 50 000. Ministerio de Transportes. San José, Costa Rica.

Instituto Geográfico Nacional. Mapa Geomorfológico, sistema fluvial del Tárcoles. Ministerio de Transportes. San José, Costa Rica. 1983

Jiménez Wilberth. "Una emergencia anunciada". Aportes. 11 – 14, octubre, 1998.

Linsley, Ray. Ingeniería de los recursos hidráulicos. Planeación y Administración. Compañía Editorial Continental. México D.F., México. 1979.

Mayorga, Gravin. Apuntes del curso de obras hidráulicas. UCR. San José, Costa Rica. 1988.

"Mich deja estragos en San Ramón". El Occidente. (San José, C.R.) octubre, 1998, pág. 6.

Mora, Carlos. Tipologías de viviendas popular. Proyecto de graduación UCR. San José, Costa Rica. 1989.

Neira C, Hernando y Basso Sylverter. Determinación del ajuste de crecidas, ejemplo práctico hidrograma unitario, deductivo, ajuste.

"Parque recreativo ecológico El Laguito, un proyecto para disfrutar en familia". Entre cantones. (Grecia, C.R.) marzo, 1994, pág. 5.

Pérez, Samuel y Van Ginnefan, Peter. Mapa: Capacidad en el uso del suelo. 1978

Pérez Samuel, Alvarado Alfredo y Ramírez Elizabeth. Suelos existentes en la hoja cartográfica San José. Escala 1:200 000. Instituto Geográfico Nacional. San José, C.R. 1978.

Pineda, Miryam. Algunos aspectos de la evolución político – económica del cantón de San Ramón. 1981

Quesada Alvarado, Angela. Recordando la historia de mi pueblo: San Ramón. San José, Costa Rica: EUNED. 1996

Quesada Alvarado, Angela. Inundación en San Ramón, Alajuela. Octubre 2001 (Comunicación personal)

Ramírez, Patricia. Estudio meteorológico de los veranillos en Costa Rica.

Ministerio De Agricultura Y Ganadería. Instituto meteorológico nacional. San José, Costa Rica. 1986

Ramírez, Roberto. Microzonificación sísmica del cantón de San Ramón. Escuela de Geología UCR. 1995.

Rodríguez Campos, Edgar. Análisis de los problemas de inundación. Tesis de licenciatura en Ingeniería Civil. Universidad de Costa Rica. 1986.

Sagot R. Álvaro. "Los verdaderos responsables de la contaminación de nuestros ríos y quebradas". El Occidente. (San José, C.R.) 1998.

Sandoval, Luis Felipe y otros. Mapa Geológico de Costa Rica. Ministerio de Industria Energía y Minas. Dirección de Geología, Minas y Petróleo.

Simón, Andrew. Practical Hydraulic: John Wiley and Sons. New York. EU. 1981.

Smith, K. Channels and Channel control structures. Computacional Mechanics Center. 1983.

Taylos, Guiselle. Riesgos de inundación. Heredia, Costa Rica. Facultad Ciencias de la tierra y Mar. Escuela de Ciencias Geográficas. 1984.

Tarquin, Anthony. Ingeniería Económica. Editorial McGraw – Hill. Bogotá, Colombia. 1989.

Torp J, Smith G.D y Heigher. Categories of soil clasification, order, suborder and greater groups. Soil Science 67: 117 – 226. 1949

US. Department Of Agriculture. Soil taxonomy, a basic abra system of soil clasification for making and interpreting soil surveys. Washington, Soil Conservation Service, Agriculture Handbook. N°436. 754p. 1975.

Vargas, J. .Geología de una parte de la hoja Naranjo. Ministerio de Economía, Industria y Comercio. Dirección de Geología, Minas y petróleo. Informe técnico año 16, vol. 58. San José, Costa Rica. 1978.

Vargas Roldán, Guillermo. Inundación en San Ramón, Alajuela. Octubre 2001 (Comunicación personal)

Villón, Máximo. Hidráulica de canales. Taller de publicaciones del ITCR. Cartago, Costa Rica. 1981.

ANEXOS

Anexo Nº 1: Actas Municipales revisadas durante el periodo 1900 – 2000, San Ramón

Año	Datos
1900	*
1903-1905	*
1901-1907	*
1908-1909	*
1909-1912	*
1910	*
1910-1912	*
1911-1916	sesión ordinaria # 15 Artículo 3 sesión extraordinaria # 17 Artículo 5 sesión ordinaria #16 Artículo 5 sesión ordinaria # 7 Artículo 9
1916-1921	*
1921-1922	*
1922-1923	*
1924-1953	*
1936-1940	*
1942-1945	*

1948-1950	*
1950-1951	*
1951-1953	*
1953-1955	*
1955	*
1956	*
1957	*
1958	*
1959	*
1960	*
1961	*
1962	*
1963	*
1964	sesión extraordinaria # 8 Artículo 6
1965	sesión ordinaria # 30 Artículo 5
	sesión ordinaria # 31 Artículo 9
	sesión ordinaria # 18 Artículo 6, 9
1966	sesión ordinaria # 31 Artículo 2
1967	sesión ordinaria # 1 Artículo 5
	sesión ordinaria # 3 Artículo 5

	sesión ordinaria # 16 Articulo 2
	sesión ordinaria # 14 Articulo 4
1968	sesión ordinaria # 23 Articulo 2
	sesión ordinaria # 30 Articulo 2
	sesión ordinaria # 5 Articulo 2
1970	*
1971	*
1972	*
1973	*
1974	sesión ordinaria # 33 Artículos 1,5 ,8
	sesión ordinaria # 34 Artículo 1
	sesión ordinaria # 118 Artículo 8
1975	*
1976	*
1977	sesión ordinaria # 261 Artículo 3
	sesión ordinaria # 275 Artículo 2
	sesión ordinaria # 315 Artículo 5
1978	*
1979	sesión ordinaria # 142 Artículo 3
	sesión ordinaria # 11 Articulo 2
	sesión ordinaria # 126 Artículo 5
	sesión ordinaria # 146 Artículo 6
1980	sesión ordinaria # 187 Artículo 2
	sesión ordinaria # 198 Artículo 2

1981 *

1982 sesión ordinaria # 16 Artículo 5
sesión ordinaria # 45 Artículo 2

1983 sesión ordinaria #137 Artículo 3
sesión ordinaria # 79 Artículo 2
sesión ordinaria # 150 Articulo 5,6
sesión ordinaria #141 Articulo 6

1984 sesión ordinaria #308 articulo1

1985 sesión ordinaria #289 articulo 6
sesión ordinaria #292 articulo 3
sesión ordinaria #294 articulo 6

1986 sesión ordinaria # 33 articulo 4
sesión ordinaria # 5 articulo 4
sesión ordinaria # 372 articulo 4
sesión ordinaria # 376 articulo 4
sesión ordinaria # 378 articulo 6
sesión ordinaria # 391 articulo 2
sesión ordinaria # 29 articulo 6
sesión ordinaria # 31 articulo 2
sesión ordinaria #99 artículo 2

1987 sesión ordinaria #111 artículo 5
sesión ordinaria #118 artículo 4
sesión ordinaria # 160 artículo 4

1988 *

1989 *

1990 sesión ordinaria #391 artículo 4
sesión ordinaria #415 artículo 1
sesión ordinaria #5 artículo 6
sesión ordinaria #50 artículo 1

1991 *

1992	*
1993	*
1997	sesión ordinaria #340 artículo 1 sesión ordinaria #347 artículo 1 sesión ordinaria #368 artículo 5 sesión ordinaria #423 artículo 5
1998	sesión ordinaria #53, Artículo 3, 6 sesión ordinaria #56 articulo 4 sesión ordinaria #58 artículo 2 sesión extraordinaria #54 artículo 2
1999	*
2000	sesión ordinaria #153 artículo 3 sesión ordinaria #155 artículo 4 sesión ordinaria #162 artículo 4 sesión ordinaria #166 artículo 4 sesión extraordinaria #151 artículo 2 sesión ordinaria #155 artículo 4 sesión ordinaria #156 artículo 1,4 sesión extraordinaria #157 artículo 3

* No hay datos sobre inundaciones.

Años donde aparece sección contienen información sobre las inundaciones ocurridas.

Anexo N° 2: Guía para la entrevista

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SEDE DE OCCIDENTE**

Proyecto de Investigación

**Evaluación Socioeconómica del Riesgo de Inundación microcuenca
Quebrada Estero, San Ramón, Costa Rica. N° 540 – A0 – 098
M.Sc. Marvin Quesada.**

Esta entrevista esta dirigida a personas líderes de la comunidad mayores de 70 años, que hayan vivido en San Ramón por mas de 50 años y que sean conocedores de la realidad ramonense.

El fin primordial de esta encuesta es darse una idea del historial de las inundaciones del Estero. Además, se desea determinar las causas de las inundaciones y las áreas que son inundadas en la microcuenca Estero en San Ramón.

1. Sexo: _____
2. Edad: _____
3. Escolaridad: _____
4. Lugar de residencia: _____
5. Cuánto tiempo: _____
6. A qué se dedica: _____
7. Principal problema que tiene San Ramón
 - 7.1 Ambientales: _____
 - 7.2 Socioeconómicos: _____
8. A su juicio ¿Es la quebrada Estero un problema para San Ramón?
Sí _____
No _____
Por que _____
9. Recuerda alguna inundación que halla afectado esta ciudad
Sí _____
No _____
Cuántas _____
10. A su juicio ¿A qué se debe que ocurran inundaciones en San Ramón?

11. ¿Cuáles son los sectores o sitios que se han inundado? _____
12. ¿Por qué esos sectores se inundaron? _____
13. Recuerda si en algunos años se inundaron esos sectores y en otros años otros

14. Considera usted que el crecimiento urbano ha agravado las inundaciones

Sí _____

No _____

Por que _____

15. Cree usted que "El Laguito" es una amenaza para la ciudad
-

16. En orden de prioridad, ¿Cuáles son los sectores sociales o económicos más afectados?

_____ Agrícola

_____ Residencial

_____ Industrial

_____ Comercial

_____ Otro: _____

17. El sector residencial afectado es aquel que solo se ubica en los márgenes de la quebrada

Sí _____

No _____

Otros _____

18. ¿Cuáles sectores sociales son afectados?

_____ Solo los de clase baja.

_____ Clase media y baja

19. ¿Cuáles urbanizaciones han sido afectadas?
-

ANEXO No. 3

Participantes en la presentación del Proyecto de Investigación a la comunidad de San Ramón



Foto N 9. Presentación del proyecto de investigación en la urbanización el Porvenir.



Foto N10. Algunos de los asistentes a la presentación del proyecto en le urbanización el Porvenir.



Foto N 11. Presentación del proyecto de investigación ante el Concejo Municipal,
S. Ramón.

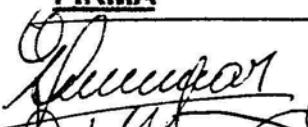
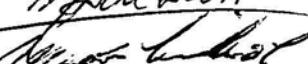


Foto N12. Algunos de los municipios presentes en la charla en la Municipalidad de
S. Ramón.

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SEDE DE OCCIDENTE
COORDINACION DE INVESTIGACION

PROYECTO DE INVESTIGACION: N° 540-A0-098
EVALUACION SOCIO-AMBIENTAL DEL RIESGO DE INUNDACION
MICROCUENUCA QUEBRADA ESTERO, SAN RAMON, COSTA RICA

"EVALUACION DE LAS INUNDACIONES EN LA QUEBRADA ESTERO, SAN RAMON"
Noviembre, 2001
CONCEJO MUNICIPAL DE SAN RAMON

NOMBRE	CEDULA	FIRMA
Omar Salas Alvarado	2278 760	
Rocío Cispedes Rodríguez	2-289-929	
Marielis Araya Umana	3-165-560	
Juan Carlos Lareyjol	2 248 626	
Lideth Rodríguez Atila	2-314-384	
Apolo Angel Araya	2-160-010	
Glodoro Cruz Alvarado	2-209-464	
Virginia Montero Shaya	2305113	
Esperanza Arias F.	2-032-342	
Carla Monti Amie	2-352-254	
Maryela Espinoza	6 090 146	
Eduardo Araiza P.	2-433-115	
Dilia Ma. Araya Soló	2-349-518	
Donilo Charvario J.	9-073-517	
Ana Lidette Lara Portuguez	2-223-638	
Dilia Piñino Gómez	2440050	
Orisbel Charvario Zúñiga	2203587	
Filiberto Chavarría	...	

Pag. 2

CHARLA PRESENTADA EN EL CONCEJO MUNICIPAL DE SAN RAMON

NOMBRE

CEDULA

FIRMA

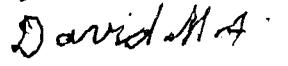
Irene Salas D.

2351-403.



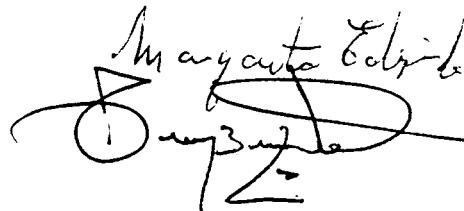
David Muñoz S.

2.735484



Margarto Elydo A

2-271728



Trino Barrante A

2-273-798

MARVIN BENITO BONILLA 2-363-350

Rafael R. Vargas González 6-245-542



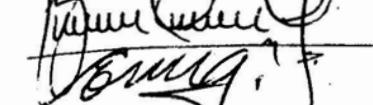
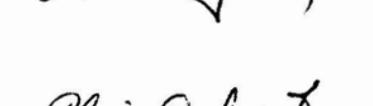
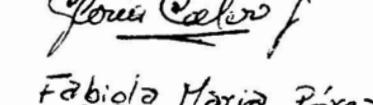
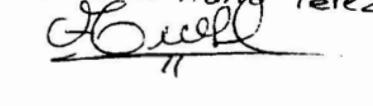
UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SEDE DE OCCIDENTE
COORDINACION DE INVESTIGACION

PROYECTO DE INVESTIGACION: N° 540-A0-098
EVALUACION SOCIO-AMBIENTAL DEL RIESGO DE INUNDACION
MICROCUENUCA QUEBRADA ESTERO, SAN RAMON, COSTA RICA

CHARLA

"CAUSA DE LAS INUNDACIONES EN LA QUEBRADA ESTERO, SAN RAMON"

REALIZADA EN LA URBANIZACION EL PORVENIR

NOMBRE	CEDULA	FIRMA
Elviro Arias	5227470	
Cristina Molina Moya	6-158-221	
Iris A. Salas Martínez	2-351-419	
EDGAR ROMÁN BEJARANO	6-251-721	
Floribeth Castrachi Delyudo	1-488-875	
Danilo Muñoz Zumbado	6-097-893	
Sergio Araya Rodríguez	1-546-211	
Braulio Castro Chávez	2-308-933	
Elieth Murillo R.	2-224-670	
Flor Rodríguez R.	2-267-981	
Gloria Calvo Jaramillo	430-106854-494	
FABIOLA MARÍA PÉREZ.		
Ama Isobel Orosco Moroles	2-330-455	

ANEXO No. 4

San Ramón, 15 de noviembre del 2001.

Señor
Ms. Sc. **MARVIN QUESADA Q.**
Departamento de Ciencias Sociales
Sede de Occidente
Presente.

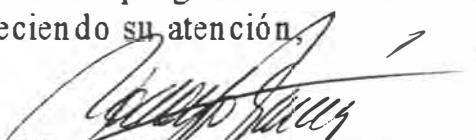
Estimado profesor:

Sirva la presente para saludarlo, y recordarle que estaremos grabando nuevamente el día 3 de diciembre del presente año en Audiovisuales, como es de costumbre a las 8:30 a.m.

Aprovecho la oportunidad para agradecerle su atenta participación en la grabación de los anteriores programas titulados: **LOS HURACANES: SU IMPACTO SOCIO-ECONOMICO, RIESGOS NATURALES, Y RIESGO DE INUNDACIONES EN LA MICRO CUENTA "EL ESTERO".** Para el presente año nos quedan por grabar el tema de **PLAN REGULADOR Y EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL**, fecha de grabación que acordaremos el próximo 3 de diciembre.

Le comunico que las distintas grabaciones han sido solicitadas tanto por estudiantes como profesores para fines didácticos, lo cual refleja tanto la actualidad del programa como la forma y contenido del mismo.

Agradeciendo su atención,


LIC. RODOLFO GARCIA A.
COORDINADOR DEL PROGRAMA
DIALOGO ABIERTO CON EL PUEBLO

cc. Coordinación de Investigación de la Sede de Occidente.
Departamento de Ciencias Sociales
Dirección de la Sede.

ANEXO No. 5



Ministerio del Ambiente y Energía

INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL

Apartado: 5583-1000 San José, Costa Rica

Teléfono: (506) 222-56-16

Fax: (506) 223-18-37

Correo Electrónico: imn@meteoro.imn.ac.cr

Página en Internet: www.imn.ac.cr

San José, 12 de junio del 2001

GIC-094-01

M.Sc.

Saray Córdoba González

Coordinadora de Investigación

Sede de Occidente, UCR.

Fax: 445-6005. 3 págs.

Estimada señora:

Con respecto a su solicitud según referencia S.O.-C.I.-155-2001 del 29 de mayo, le informo cual es el procedimiento a seguir en estos casos.

Como es de conocimiento, algunas instituciones del estado han tenido que establecer tarifa de servicios y la nuestra no es la excepción, al igual que también lo hacen las universidades.

Es por este motivo que nuestra institución solicita un determinado trámite para suministrar información, que fue comunicada en su momento a los rectores de las universidades estatales.

El mismo consta de una certificación en donde se indique que la investigación está o no siendo financiada por entes externos a la universidad o a través de FUNDEVI. Además, se somete a la firma de un contrato de utilización de datos e información meteorológica, documentos adjuntos. Finalmente, una carta en donde se indica el tipo de investigación realizar y el respectivo uso de la información.

Me permito también informarle que de las estaciones solicitadas, se tiene el siguiente registro: San Ramón es del ICE y no tenemos datos. Palmares de 1960-1991 cerrada en este momento. Naranjo 1970-2000. Zarcero no hay estación y Berlin 1967-2000.

Sin más por el momento y en espera de poderlo servir, se suscribe de Usted,

Atentamente,

Lic. Juan Carlos Fajula Sojo

Encargado, Gestión de Información y Comercialización



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA
SEDE DE OCCIDENTE
CIUDAD UNIVERSITARIA CARLOS MONGE ALFARO
COORDINACION DE INVESTIGACION

S.O.-C.I.-264-2001
26 de setiembre, 2001

Lic.
Juan Carlos Fallas S.
Instituto Meteorológico Nacional
Costa Rica

Estimado señor:

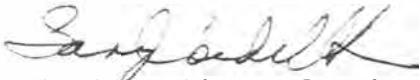
De acuerdo con su solicitud hecha en oficio No. GIC-094-01 del 12 de junio de 2001, le estoy enviando adjunto la certificación solicitada acerca del proyecto "Evaluación socioambiental del riesgo de inundación en la Microcuenca Quebrada El Estero, San Ramón, Alajuela".

Asimismo le aclaramos que los datos de precipitación solicitados servirán para hacer una evaluación climática de la región de San Ramón con el objetivo primordial de visualizar las inundaciones que se han suscitado. Se solicitan datos de sectores aledaños como Palmares, Alfaro Ruiz, Naranjo con la idea de tratar de determinar porque el clima en el área donde se ubica San Ramón es muy diferente a esas áreas vecinas.

De la serie de datos de las estaciones solicitadas se escogerán aquellos donde se muestren máximas de precipitación, se correlacionarán las regiones mencionadas para visualizar si poseen correspondencia.

Los datos que se obtengan de su institución en ningún momento serán transferidos a segundas personas y forma parte de un proyecto de investigación de la Universidad de Costa Rica.

Cordialmente lo saluda,


M.Sc. Saray Córdoba González
Coordinador de Investigación

ichm

CC: Expediente proyecto de investigación
Archivo

ANEXO No. 6



TEMPORAL AND SPATIAL VARIABILITY OF ANNUAL PRECIPITATION IN COSTA RICA AND THE SOUTHERN OSCILLATION

PETER R. WAYLEN

Department of Geography, University of Florida, Gainesville, Florida, 32611-7315, USA

MARVIN E. QUESADA

Apdo 390, Grecia, Alajuela, Costa Rica

AND

CÉSAR N. CAVIEDES

Department of Geography, University of Florida, Gainesville, Florida, 32611-7315, USA

Received 14 February 1995

Accepted 10 July 1995

ABSTRACT

Annual precipitation totals from over 100 stations in Costa Rica are analysed to provide estimates of the nature of their response to El Niño–Southern Oscillation (ENSO) events. Responses are found to be varied in terms of their signs (droughts or excessive precipitation), magnitudes, and durations. The results of simple interstation correlations and lag cross-correlations with the Southern Oscillation Index suggest a marked difference in response in those areas draining towards the Pacific and those towards the Caribbean, as well as latitudinal variations, particularly along the Pacific coast. The marked regional differences in statistical properties over so small an area are related to complex physical processes of precipitation generation, the differing provenances of the humidity laden winds, and the fluctuations of local atmosphere–ocean interactions in response to ENSO.

KEY WORDS: Costa Rica; annual precipitation; variability; El Niño–Southern Oscillation; lag cross-correlation

INTRODUCTION

Interannual variability of precipitation has considerable implications in a variety of water resources applications including, flood and drought prevention, agriculture, silviculture, soil erosion, and the design and operation of hydraulic structures. The impact of such variability at a location is a function of the size of the deviation, although, regionally, effects may be exacerbated or ameliorated by the spatial extent and temporal phasing of any perturbation.

Despite its small size Costa Rica is an excellent locale to search for spatial and temporal patterns of precipitation variability. Proximity to the tropical Pacific places Costa Rica near the origin of the largest known single cause of current climatic variability, the El Niño–Southern Oscillation (ENSO) (Intergovernmental Panel on Climate Change, 1990). Moreover Costa Rica's position astride the Central American isthmus at almost its narrowest point, segmented meridionally by high cordilleras, permits oceanic and climatological influences from both the Pacific and Caribbean. San José's excellent meteorological record has been used frequently in regional and global studies of the effect of ENSO (e.g. Ropelewski and Halpert, 1987; Rogers, 1988; Hastenrath, 1988). It has been considered representative of Costa Rica and much of Central America, partially because of paucity of suitable records in neighbouring countries and to the limited areal extent of the region.

This paper uses records from reliable stations in Costa Rica in combination with some simple numerical techniques to obtain information about the spatial and temporal variability of annual precipitation over the country. Interstation correlations of annual totals are utilized to determine regional patterns of precipitation through cluster analysis. Lag cross-correlations establish potential teleconnections between annual precipitation and the Southern Oscillation Index (SOI), and are used to delimit regions of similar response to ENSO. Lastly, the regional variations

in years of a warmer (*El Niño*) and cooler (*La Niña*) Pacific are assessed in a fashion similar to Waylen *et al.* (1994) as revealed by the descriptive statistics and probabilities of annual precipitation totals. These procedural steps are conducted to explore the relevance of extant theories of atmospheric circulation in the area and the role of ENSO as the main factor causing variability.

STUDY AREA AND DATA

Costa Rica occupies over 50 700 km² of the southern Central American isthmus (Figure 1). It is divided from north-west to south-east by four cordilleras, Guanacaste, Tilarán, Central, and Talamanca, each of which rise above 3000 m, displaying increased widths and elevations towards the south-east. The alignments of the Cordillera Central and Cordillera de Talamanca delineate an area of lower relief known as the Central Valley. Coastlines and cordilleras do not run parallel to one another, thus the widths of coastal lowlands vary considerably.

The Instituto Meteorológico of Costa Rica (Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas, 1988) runs 105 stations, which, up to 1987, possessed at least 20 years of complete records (Figure 2 and Table I). Annual totals are summed over a calendar year. Much of the country experiences a pronounced summer maximum of precipitation (June–September) and a winter minimum. In some areas that experience a second peak in autumn (November–December), this usually declines by January. Coding each station by major drainage basins provides a convenient means of regional identification for preliminary discussion (Figure 3 and Table I). Precipitation stations are concentrated in the populated Central Valley, which is drained towards the Pacific by the Río Grande de Tárcoles and towards the Caribbean by the Reventazón. The remainder of the country is well represented with the exception of the thinly populated extreme north-east and south-central regions.

Vargas and Trejos (1994) report that over 75 per cent of Costa Rica experienced diminishing precipitation in the period 1960–1990. Application of simple linear regression (significance 0.05) to sites in this study, possessing at least 20 years of record since 1955, reveals that 11 stations (approximately 10 per cent) report significant linear

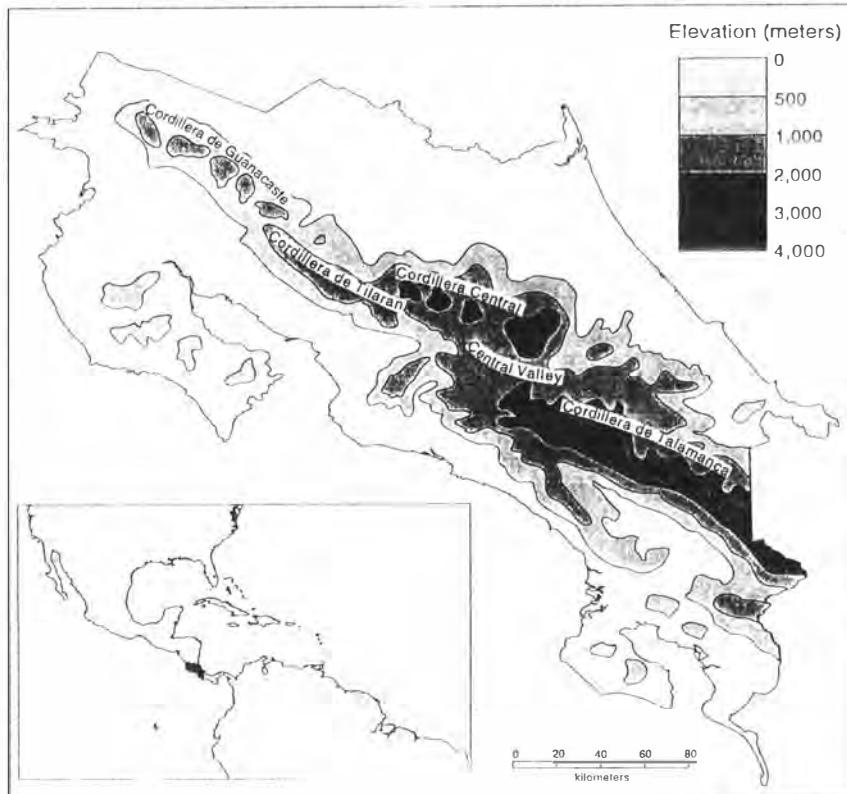


Figure 1 Generalized physiography of Costa Rica and its regional setting (inset)

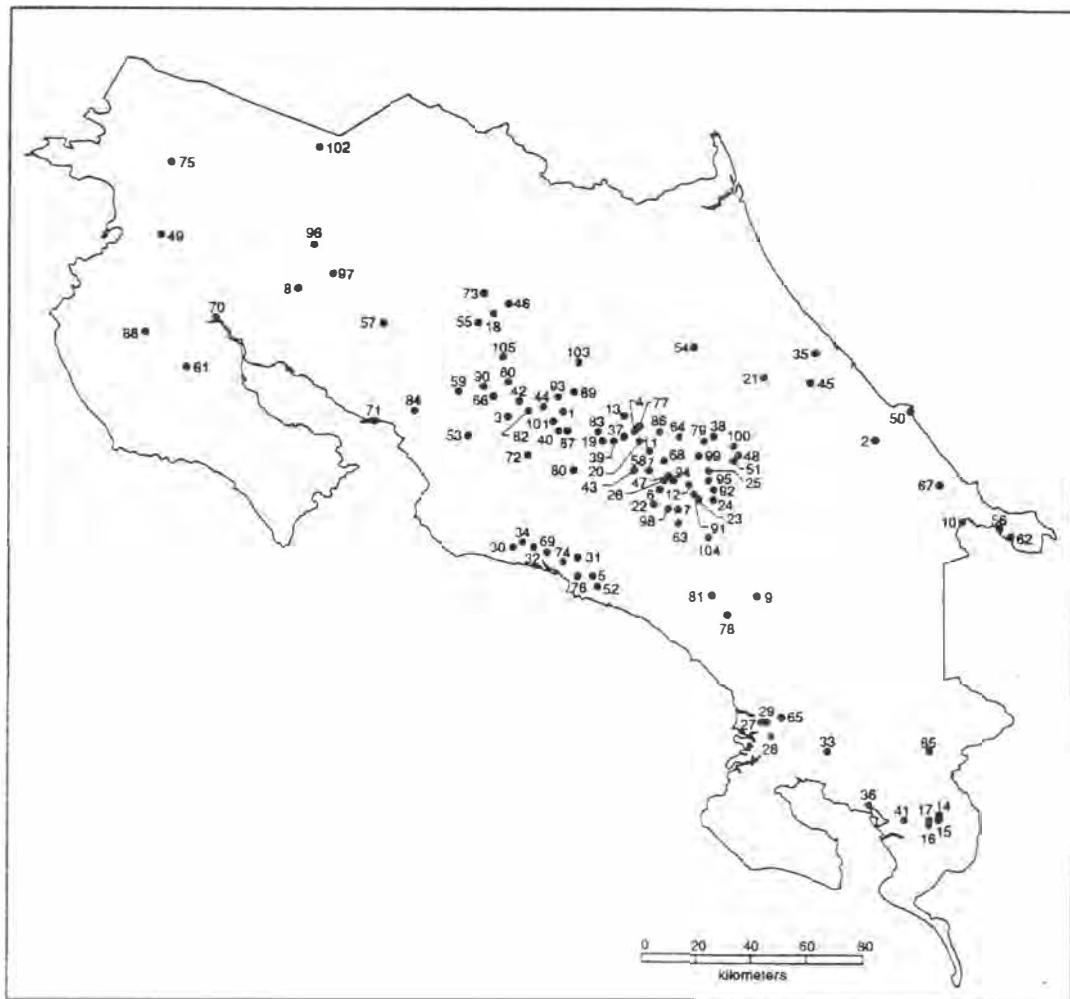


Figure 2. Locations of meteorological stations and their identification numbers used in the study, corresponding to the full tabulation provided in table 1

trends (Table I). A partial explanation for this discrepancy may be that the former estimate is based on land areas extrapolated from point data. Areas shown as experiencing trends includes the San Juan basin (north-east), Cordillera Talamanca (south-central) and Osa Peninsula (south-west), which are unrepresented by stations with sufficient record in this research (Figures 2 and 3). The spatial pattern of correlation (Figure 4) is similar to that shown by Vargas and Trejos (1994), with a grouping of stations reporting significant trends along the western Cordillera Central. The lack of major discontinuities or trends is further supported by application of the Wald-Wolfowitz test of runs (significance 0.05), which only returns Cordoncillo (station 13 in Figure 2) as possessing a significantly large number of runs above/below the median. The presence of trends will have a bearing only upon the assumption of statistical stationarity in the proposed frequency analyses.

Hastenrath (1967) discusses the major factors governing the pattern of mean annual precipitation (Figure 5). At the latitudes of Costa Rica (9–11°N) surface winds are dominated by the north-east trades, which blow fairly consistently from the Caribbean (Hastenrath and Lamb, 1977) producing precipitation along the east coast and a rain shadow in the west. Along the Pacific this pattern is disrupted by the northward migration of the Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ) in summer and its persistence into the autumn. Deflection of southerly winds crossing the Equator causes onshore equatorial westerlies, the duration of which diminishes towards the north, as do annual precipitation totals. Vargas and Trejos (1994) propose that 70 per cent of annual precipitation along the Pacific coast of Central America is 'generated' by tropical cyclones in the Caribbean. As no more than three Atlantic

Table I. Station information and numbering scheme used on maps

Map number	Station name	National code ^a	Elevation (m)	Years of data	Mean annual precipitation (mm)	Significant linear trends	Significant association with Caribbean tropical cyclone count
1	Aeropuerto Juan Santamaría	84021	932	31	1947.7		
2	Asunción	83003	130	30	3952.0		
3	Atenas, Sabena Larga	84004	696	32	1801.3	+	
4	Avance de Tres Bós	84005	1870	36	2674.0		+
5	Bartolo	92001	10	41	3778.9		
6	Belén	73034	2010	22	3217.9		
7	Berma	73040	2480	23	3758.8		
8	Cañas, San Luis	76005	95	48	1693.4	+	
9	Cedral	98010	1450	20	4066.9	+	
10	Chase	87001	40	28	2662.7	+	
11	Commandancia Cartago	73003	1440	43	1329.2		
12	Cordoncilla	73030	1240	25	5372.4		
13	Coronado	84007	1382	23	2236.8		
14	Coto 41	100051	17	25	5046.2		+
15	Coto 43	100057	13	23	4560.8		
16	Coto 44	100058	7	27	4048.0		
17	Coto 47	100035	8	40	3801.8		
18	Cuidad Quesada	69510	650	41	4574.1		
19	Desamparados	84022	1162	26	1820.7		
20	El Alto de Ochromongo	84040	1546	20	1834.5		+
21	El Cairo, Siquirres	73009	60	22	3863.1		
22	El Cañón	73027	2460	23	2106.9		
23	El Destierro	73037	2020	24	6408.3		
24	El Gato	73036	1600	22	6885.7		
25	El Humo	73028	680	30	3236.0		
26	El Llano	73029	1572	26	2934.1	+	
27	Finca 10	98077	8	23	3574.7		
28	Finca 13	100013	6	21	3829.5		
29	Finca 3	98070	10	35	3572.4		
30	Finca Angeles	88003	5	43	3117.0		
31	Finca Cerritos	90005	5	25	3834.2		
32	Finca Palo Seco	88004	15	43	3033.7		
33	Finca Puntarenas	100021	18	28	4686.3	+	
34	Finca Tigre, Quepos	88002	12	22	2789.5		
35	Freeman	75013	5	72	3592.8		
36	Golfito	100034	15	44	4817.7		
37	Hacienda Concepcion, Tres Ríos	84006	1320	23	2349.1		+
38	Hacienda Dominica	73006	707	25	2353.3		
39	Hacienda La Laguna, Curridabat	84019	1240	30	2187.1		
40	Hacienda Ojo de Agua	84024	850	23	1755.6		+
41	Kilómetro 18	100038	6	34	3176.8		
42	La Argentina, Grecia	84003	760	42	2114.5	+	+
43	La Cangreja	73041	1830	21	1712.4		
44	La Central, E.F.B.	84023	840	24	1949.9		+
45	La Lola	77002	40	33	3562.9		
46	La Marina	69530	380	38	4069.6		
47	La Maruja, Orosi	73015	1100	31	2261.3	+	
48	La Suiza	73044	620	31	2464.4		
49	Liberia, Llano Grande	74020	85	53	1652.7		
50	Limón	81003	5	6	3531.4		
51	Linda Vista, El Guarco	73018	1400	29	1455.6		
52	Llorona	92002	10	42	3531.7		
53	Los Andes de Orotina	84017	224	20	2444.5		
54	Los Diamates, Guápiles	73013	249	32	4465.8		

Table I. (Cont.)

55	Los Ensayos, Buena Vista	69511	1090	42	3086.8	
56	Margarita	87002	12	20	2339.7	
57	Monte Verde	78002	1460	25	2466.8	
58	Muñeco	73042	1410	24	1908.2	
59	Nagatac	80005	450	25	3383.7	
60	Naranjo, Beneficio Pilas	84016	1042	27	2410.7	+
61	Nicoya	72101	120	29	2232.3	+
62	Nievecita	87004	20	20	2415.2	
63	Ojo de Agua	73038	2960	23	2648.0	
64	Pacayas	73022	1735	29	2284.6	
65	Palmar Sur	98002	16	43	3706.8	
66	Palmares	84014	1017	34	1891.8	+
67	Pandora	85001	17	21	2467.1	
68	Paraíso de Cartago	73024	1380	21	1757.5	
69	Pocares	90001	6	36	2982.6	
70	Puerto Humo	74005	10	21	1988.6	+
71	Puntarenas	78003	3	6	1598.1	
72	Puriscal	88001	1102	22	2541.2	
73	Quebrada Azul	69515	83	23	3374.8	-
74	Quebrada Bonita	90004	4	37	3467.4	
75	Quebrada Grande	74004	366	20	1849.1	
76	Quepos	90003	5	41	3851.0	
77	Rancho Redondo	84018	1780	30	2497.6	
78	Repunta	98009	580	25	2598.1	+
79	Rosemont, Juan Viñas	73019	1165	60	4111.1	
80	San Ignacio de Acosta	88005	1095	27	2192.4	
81	San Isidro de El General	98004	703	39	2934.5	+
82	San Joaquin de Flores	84015	1050	35	2115.2	
83	San José	84001	1172	117	1882.5	+
84	San Miguel de Barranca	80002	140	42	2066.7	
85	San Vito de Java	98007	890	24	3803.7	
86	Sanatorio Durán	73011	2337	36	1515.9	+
87	Santa Ana	84011	909	42	1665.9	
88	Santa Cruz	74003	54	38	1881.8	+
89	Santo Domingo del Roble	84043	1320	28	3220.4	+
90	Subestación San Ramón	84027	1061	39	1923.5	-
91	T-Seis	73036	2000	21	7555.8	-
92	Tábano	73057	1360	22	6685.7	
93	Tacacori, Alajuela	84026	1050	23	3117.0	+
94	Tapanti	73026	1203	32	2704.9	+
95	Taus	73045	900	21	4598.1	
96	Tierras Morenas	76006	695	22	2371.2	-
97	Tilarán	76002	562	30	2119.8	+
98	Tres de Junio	73039	2200	23	2978.6	
99	Tucurrique	73047	770	22	2204.6	
100	Turrialba, I.I.C.A.	73010	602	43	2604.9	
101	Turrucas	84012	639	34	1891.8	
102	Upala	69538	50	20	2558.3	
103	Vara Blanca	69505	1804	20	3543.5	
104	Villa Mills	73033	3000	30	2812.0	+
105	Zarcero	69512	1736	28	1920.8	

^a First two or three digits identify the drainage basin within which station lies, as follows:

69	San Juan	72	Nicoya	73	Reventazón
74	Tempisque	75	Pacuare	76	Bebedero
77	Madre de Dios	78	Rivers between Bebedero and Barranca		
80	Barranca	81	Banano	83	Bananito
84	Tárcoles	85	Estrella	87	Sixaola
88	Candelaria	90	Pocares	92	Naranjo
98	Grande de Téraba			100	Coto and neighbouring rivers

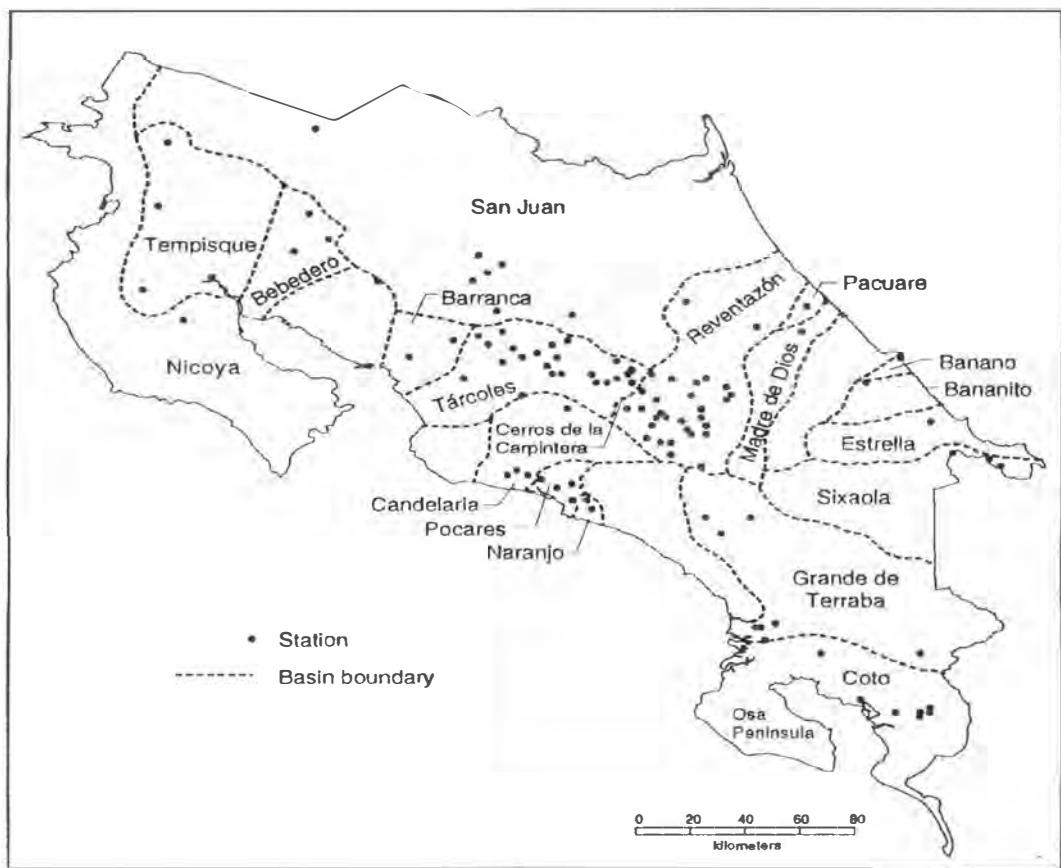


Figure 3. Meteorological stations and their disposition relative to the major national drainage basin boundaries referred to in regional discussions

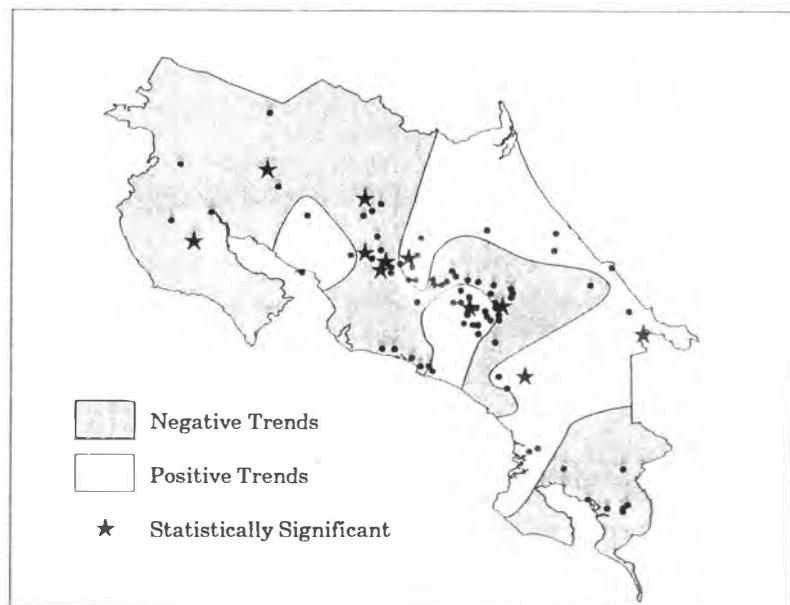


Figure 4. Measure of linear trends in annual precipitation

1955. Asterisks mark stations reporting statistically significant (0.05 level) results

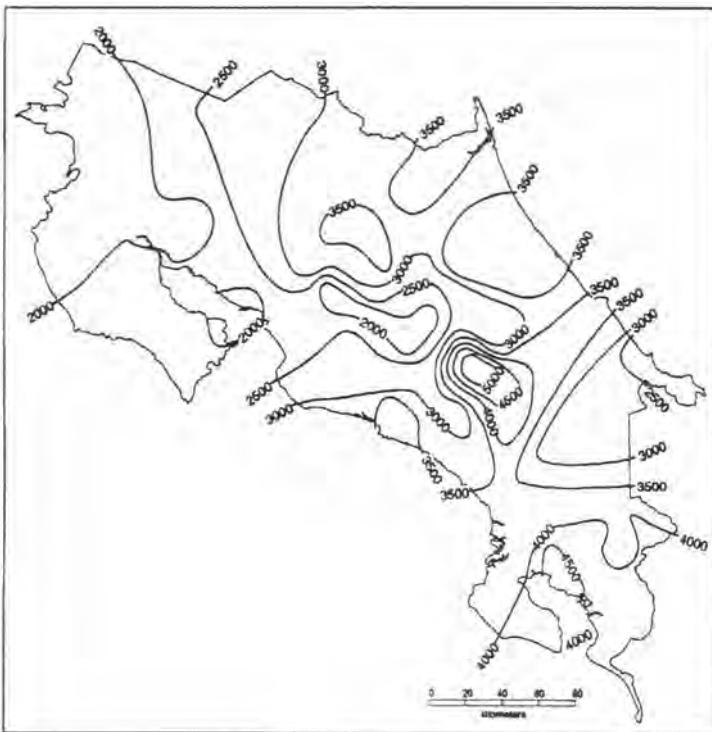


Figure 5. Mean annual precipitation (mm) based upon the station records used in the paper

tropical storms or hurricanes passed over Costa Rica in the period 1871–1986 (Neumann *et al.*, 1988), such storms must be effective through the disruption of the north-easterlies and the promotion of westerlies. Embedded occasionally in this westerly equatorial flow are large-scale disturbances or *temporales* (Portig, 1965; Hastenrath, 1988), which may produce copious precipitation and induce considerable interannual variability.

During the boreal winter the ITCZ migrates southward in the eastern Pacific to about 3°N (Alpert, 1945), thereby generating almost consistent westerlies in south-western Costa Rica (Hastenrath, 1967, 1990), and a slight rain shadow on the opposing Caribbean side. There is a region of higher precipitation in the extreme north-east extending into Nicaragua, which results from winter outbursts of cooler northerly winds, or *nortes*, proceeding from North America across the Gulf of Mexico and Caribbean (Garcia *et al.*, 1978; Cavazos and Hastenrath, 1990). The orientation of the coastline and pressure gradients produce stress-differential-induced convergence and locally heavy coastal precipitation following the passage of cold fronts (Bryson and Kuhn, 1961). Elevation and the orientation of the major cordilleras are important modifiers of local precipitation patterns (Chacón and Fernández, 1985), although their exact role in enhancing or reducing precipitation in the tropics is a question open to debate because it may relate to the dominant mode of precipitation generation (Hastenrath, 1988).

An association between precipitation totals in the Caribbean and Central America and atmosphere-ocean circulation in the South Pacific is well established (Hastenrath, 1984, 1988; Ropelewski and Halpert, 1987; Rogers, 1988; Cavazos and Hastenrath, 1990). In several of these works Costa Rica has been lumped with Central America and the Caribbean as experiencing droughts during the boreal summer preceding the onset of El Niño. This is the weakest regional association reported by Ropelewski and Halpert (1987). Hastenrath (1976, 1984, 1988) uses 48 stations to produce a single composite time series of precipitation for the Caribbean and Central American region. Only four of these stations lie in Costa Rica (Hastenrath, 1976). One is San José (83), and the others could be Limón (50), Villa Mills (104) and San Isidro de El General (81), all of which were selected for extensive study previously (Hastenrath, 1967).

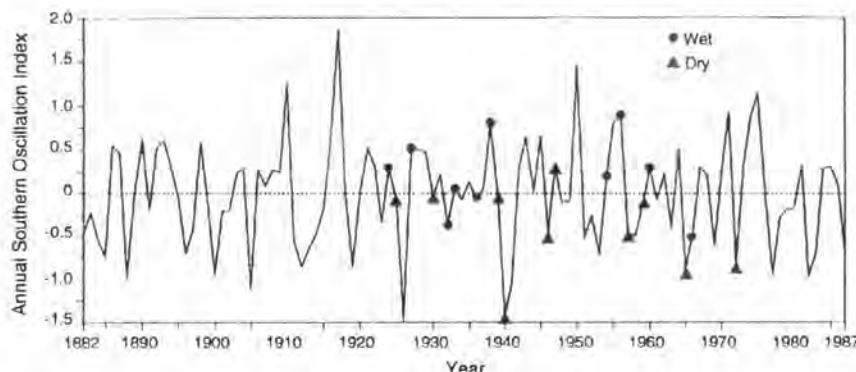


Figure 6. Time series plot of annual values of the Southern Oscillation Index, 1882–1987, identifying years which were exceptional 'wet' or 'dry' in the Central American and Caribbean region (Hastenrath, 1988)

The primary index of ENSO activity used in this paper is that of Schneider and Schönweiss (1989). Monthly values of the SOI from 1881 to 1986 have been converted to annual figures by calculating their respective arithmetic means within each calendar year (Figure 6). Hastenrath (1988) identifies nine years as exceptionally 'dry' (> 0.45 standard deviations below the series mean) and ten years as 'wet' (> 0.30 standard deviations above the series mean) from his composite precipitation time series, in the period 1921–1974. Some correspondence between this classification and annual SOI values is apparent (Figure 6). The majority of the 'wet' years are associated with higher than average SOI values, whereas the 'dry' correspond to lower SOI values. The accordance is by no means perfect, but indicative of broad agreement.

NUMERICAL TECHNIQUES

Interstation correlation

The full matrix of interstation correlations of annual precipitation is entered in a cluster analysis that identifies a tree of linkages between stations. Linkages between stations and/or groups of stations is defined by the average linkage method (Wolter, 1987), which maximizes correlation between individuals or derived groups, by using the average correlation of each group (as opposed to maximum or minimum correlation of any individual within the group). Statistically significant correlations (at the 0.05 level) are recorded and mapped as correlation fields. In order to establish the characteristic pattern of interstation correlations within a geographical region, the individual fields of constituent stations are combined by placing each at the origin of the correlation field and superimposing its significance values of correlation at the appropriate locations relative to this origin (Berndtsson, 1988). The resulting field is indicative of the regional strength and structure of associations between annual precipitation, through the number and orientation of significant pairings.

Lag cross-correlations

The study of teleconnections through regression analysis is a well established procedure. In this particular case, annual precipitation totals are regressed against annual values of the SOI. In order to identify potential lead/lag relationships at each station, regressions are carried out, with precipitation leading and lagging the SOI by between ± 7 years. The latter figure is selected because of the observed 2–7 year frequency of ENSO events. After an appropriate normalization (Press *et al.*, 1988, p. 486) cross-correlations may be entered as station variables into the clustering program in order to determine regional patterns of associations between annual precipitation and the SOI.

Frequency analysis

Each annual record at a station is allocated to one of three subsamples; 'warm', relating to a low phase of the SOI and a warmer than average western Pacific, 'cold', associated with high phase SOI and a colder eastern Pacific, and the remaining 'normal' years, according to the classification provided in Waylen *et al.* (1994). Descriptive statistics of each subsample are derived using L-moments (Hosking, 1986; Guttman, *et al.*, 1993). Two tailed F-tests (significance 0.05) are used to compare the variances in each subsample, and two tailed *t*-tests (significance 0.05) to compare means. The exact nature of the computed *t*-statistic varies depending upon the outcome of the comparison of variances. The goodness-of-fit of normal distributions estimated for each subsample is tested using a modified Kolmogorov-Smirnov test (Crutcher, 1975) at a significance level of 0.20 to diminish the chance of committing type II errors. The computation of L-moments requires a minimum sample size of four in any one of the three subsamples, thereby reducing the number of suitable stations to 90 in this procedure.

RESULTS

Interstation correlation

Figure 7 depicts the allocation of stations by the clustering to one of four major groups, which can be classified broadly as, North-west, Mid-Pacific, South-west and Caribbean. The limits to each may be described in terms of the major watersheds (Figure 3).

Group I—the North-west. Consists primarily of stations in the Nicoya, Tempisque, Bebedero, and Tárcoles basins, and intervening areas. Of the 34 stations within these basins, only four are classified differently. Puerto

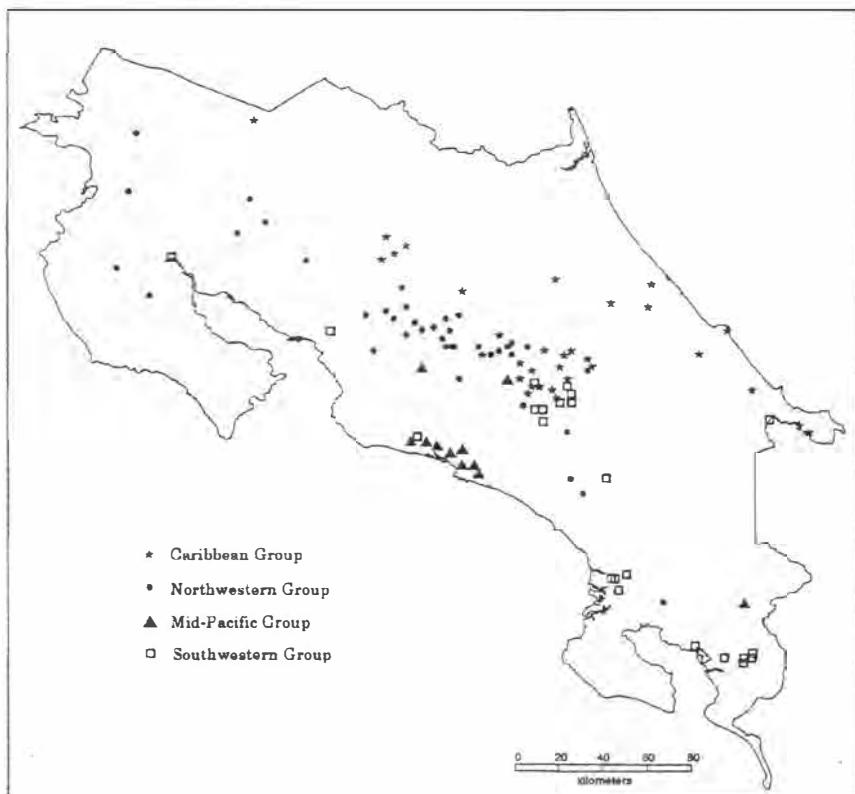


Figure 7. Allocation of each station to one of four groups based upon the similarities of interstation correlations of annual precipitation, defined by cluster analysis

Humo (70) and San Miguel de Barranca (84), both on the Golfo de Nicoya, display correlation fields more akin to those of stations in Group III (South-west). Cordoncillal (13) and Desamparados (19), close to the low drainage divide of the Cerros de la Carpintera (< 2000 m) in the eastern headwaters of the Tárcoles basin, are classified with the nearby Caribbean stations (Group IV). In addition, six stations beyond the basin limits are assigned to the North-west group. They share common characteristics of elevation, orientation, and exposure: El Cañón (22), Villa Mills (104), San Isidro de El General (81), and Repunta (78) are located at fairly high elevations on the leeside of mountain divides separating them from the Pacific (Figures 1 and 2); at lower elevation, the same is true of Finca Puntarenas (33), leaving only Linda Vista, El Guarco (51) in the eastern Reventazón as anomalous.

Group II—Mid-Pacific. Includes 11 stations drawn almost exclusively from the small basins of the Candelaria, Pocares, and Naranjo. Topographic similarities and the density of stations along the coast makes the allocation of Finca Tigre, Quepos (34) to Group III (south-west) unusual. La Cangreja (43) and San Vito de Java (85) lie outside the basin boundaries: the former is located just over the divide in the Reventazón, whereas the latter is in the extreme south-west of the El General basin on the leeside of a more sizeable divide.

Group III—South-west. This is the least geographically contiguous group, comprising low-lying stations in the Coto and El General basins and stations at intermediate elevations in the southern Reventazón. Chase (10), at the northernmost border with Panama, appears anomalous. The Caribbean influence on this station is greatly lessened despite the sea's proximity. Margarita (56) and Nievecita (62) lie further downstream and are exposed to the Caribbean influences, whereas Chase is located inland of a large bend in a river. To the north and east the station is ringed by uplands, and to the south-west, by high lands in Panama. The local topographic setting, then, orientates the station in the direction of equatorial westerlies and on the leeside with respect to winds from the Caribbean.

Group IV—Caribbean. Aside from the few noted exceptions, this region encompasses stations located in the Sixaola, Estrella, Bananito, Blanca, Madre de Dios, Pacuare, and San Juan basins. Northern portions of the Reventazón are also included. Exposure to the Caribbean influences is a primary consideration for membership in this group (Figure 1). A northward projecting ridge of the Cordillera de Talamanca blocks portions of the southern Reventazón basin from Caribbean airflows and the eight stations therein are assigned to Group III (south-west.)

Regional correlation fields

Only statistically significant correlations are mapped and used in the construction of the regional composite correlation fields (Figures 8–11). The distribution of dots provides a rough guide to the dimensions of Costa Rica. Beyond these the correlation fields are purely artifices of the mapping package. All correlation fields reveal strong north-west south-east trends, paralleling the dominant physiographic and coastline orientations.

The North-west group (Figure 8) displays high positive correlations (> 0.6) along an east west axis located about 75 km either side of the origin, and limited to about 25 km in a north-south direction. These dimensions correspond to those of the Tárcoles basin, whose stations constitute the majority of the group. A second area of high correlation lies between 100 and 250 km to the south-west, corresponding to stations of the South-west group. Intervening correlations are lower, which is consistent with the identification of the Mid-Pacific stations as a distinct group. A marked feature of this correlation field is the decline of correlation to the east and east-south-east from 0.4 at 150 km, to –0.3 at 250 km, corresponding to distances from most north-westerly stations to those along the Caribbean coast.

This inverse behaviour of Pacific and Caribbean coastal stations is also clearly displayed in the correlation field of the mid-Pacific group (Figure 9). The steepest gradient occurs at about 100 km in a quadrant from the north-east to the south-south-east, which approximates distances and directions to the Caribbean drainage divide from most Mid-Pacific stations. Several negative correlations are observed at distances (175–200 km) equivalent to the intracoastal dimensions. Correlations are highly positive in the 75 km encompassing the group, but diminish to the north-west and south-east, identifying groups I and III as being similar, but not identical.

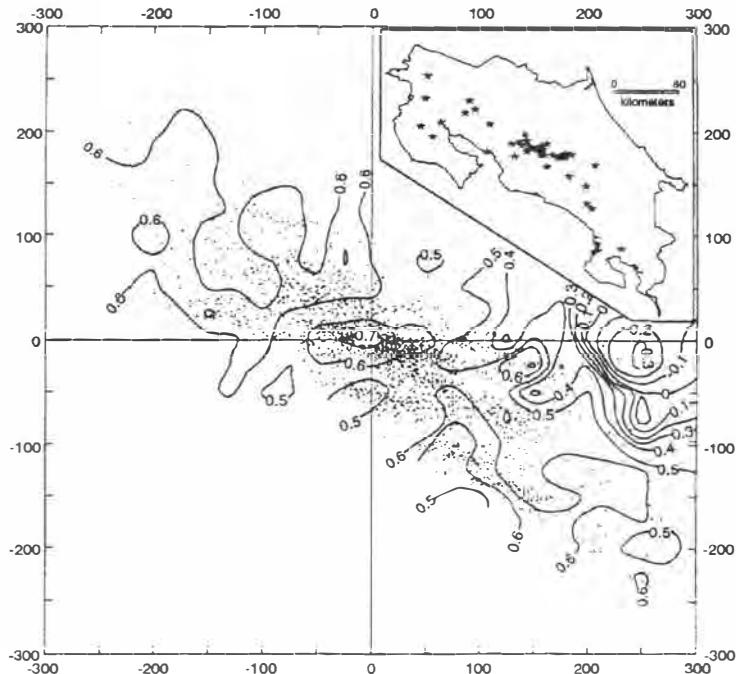


Figure 8. Correlation fields and isocorrelation line of significant interstation correlations of annual precipitation between stations in the Northwest group (see stars in inset) and all other stations. All numbers on axes represent distances in kilometres from the point of origin. Negative numbers on the vertical and horizontal axes represent distances south and west of the origin

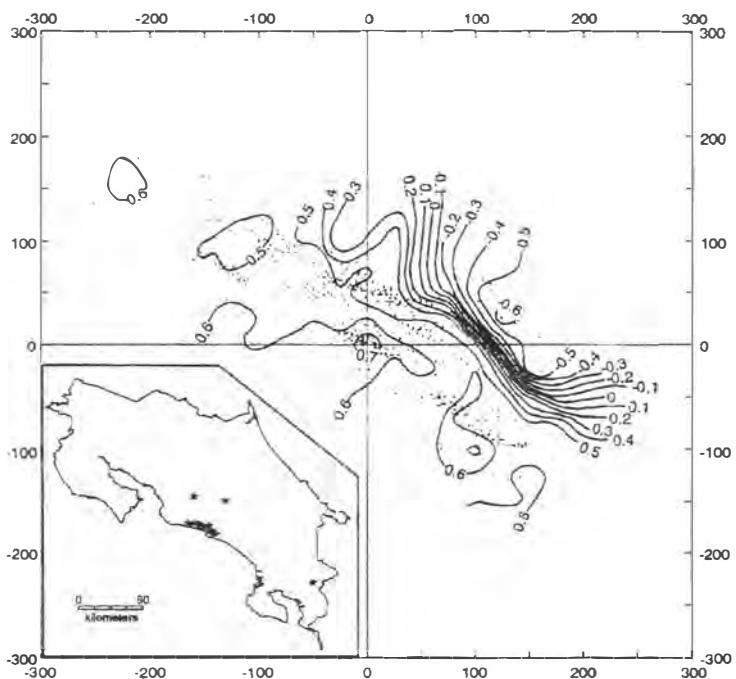


Figure 9. As in Figure 8, except for stations in the Mid-Pacific group of stations

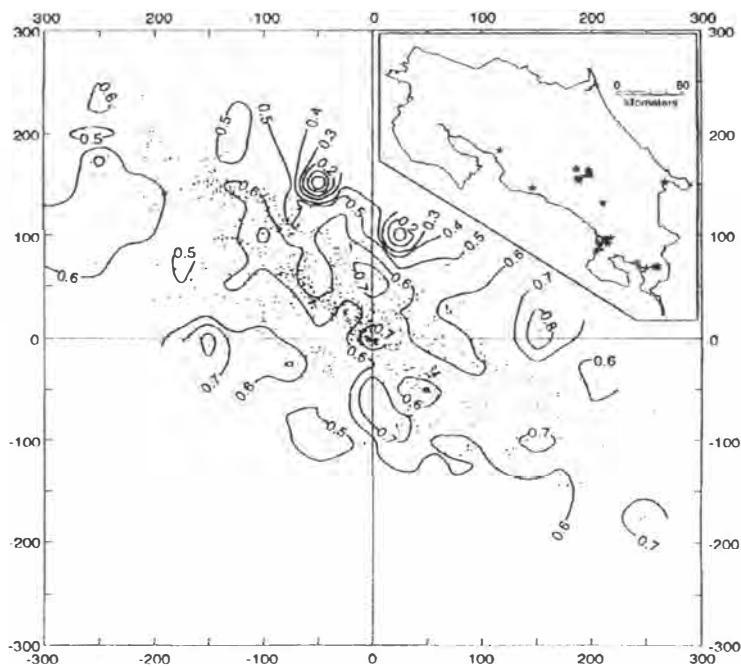


Figure 10. As in Figure 8, except for stations in the South-west group of stations

The dispersed nature of the South-west group is revealed in Figure 10. High positive correlations (>0.7) appear north and south of the origin at about 75 km, equivalent to the distances between the two aggregations of constituent stations in the south-west and southern portions of the Reventazón basin respectively. Northwards, beyond this limit, some decline in correlation is noted with stations in the Caribbean watershed.

Group IV (Figure 11) displays strong similarity (correlation >0.6) over distances (250 km) along the topographic axis, which are equivalent to the length of the entire Caribbean seaboard. To the west, correlations decrease rapidly at about 100 km and became negative, illustrating the Pacific–Caribbean contrast.

Correlation of annual precipitation and SOI

Use of lag cross-correlation to detect teleconnections may induce spurious periodic behaviour if the variables are correlated serially (Katz, 1988; Chu and Katz, 1989). First-order autocorrelation of the annual SOI is low (0.078) and not significantly different from zero. Only 20 meteorological series showed significant lag-one serial correlation (all positive), and their disposition revealed no clearly defined spatial pattern. In light of these findings, the search for teleconnections proceeded without further statistical filtering.

Most significant cross-correlations occur at lag zero, decreasing with increased positive lags (precipitation in years preceding the year of SOI) and negative lags (precipitation in years following the SOI), to about 4 years (Table II). Using the simple assumption of independence between precipitation stations, a minimum number of 10 stations reporting statistically significant correlations is required to imply statistical significance (level 0.05) of each field at each lag (Livezey and Chen, 1983). Even under this generous assumption correlation fields at many lags can be discarded as not being significant. The locations of stations reporting significant associations (Figure 12) reveals a discernible pattern of correlations during the period of lags +1 to -2. In the year preceding the SOI observation (+1), precipitation in all areas but the Caribbean lowlands shows positive associations with the SOI that is to follow. Notable areas of association occur in the Coto and El General basins of the south-west, some of the mid-Pacific stations and the Tárcoles basin. Of the stations in the Reventazón basin, only Villa Mills (104) and Tábano (92) reveal significant associations. All significant correlations are positive at lag 0, and are restricted mainly to the Pacific watershed. Additional correlations occur at those group IV stations located in the headwaters

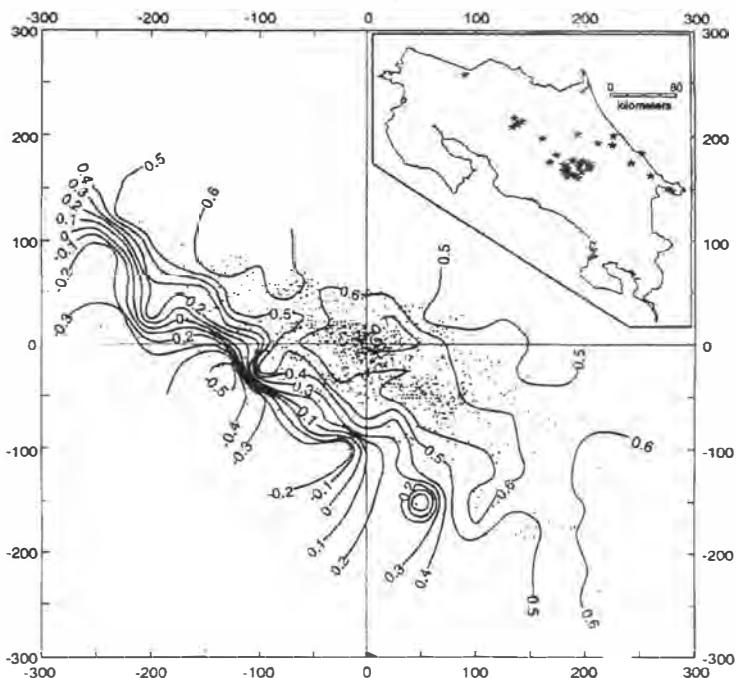


Figure 11. As in Figure 8, except for stations in the Caribbean group of stations

Table II. Number of stations reporting significant cross-correlations between annual precipitation and the Southern Oscillation Index over various lag time periods in years

Stations	Lag (years)														
	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
	11	7	28	0	7	7	14	40	11	13	8	8	3	12	3

of the Reventazón and Chase (10). Within the Tárcoles basin itself, more numerous significant results are found in the west. Stations located along the north and mid-Caribbean coast return low or slightly negative (not significant) correlations, and those within the San Juan basin show a greater influence from the Pacific. The latter finding should be interpreted cautiously owing to the noted absence of stations in the extreme north-east. Precipitation in the following year (lag -1) presents a completely opposite isocorrelation map, with the divide between negative (Pacific) and positive (Caribbean) correlations again coinciding with the major topographic divide but becoming blurred in the western San Juan basin. Significant correlations are restricted to the North-west and Mid-Pacific groups, whereas Limón (50) is positively correlated, emphasizing the strong east-west contrast found at this latitude. This pattern persists until lag -2 , but the region of significant correlations shifts markedly southward to the Coto basin and nearby portions of the El General valley.

Regionalization of correlations with SOI

Two major groups of stations, separated by the topographic divide, emerge from clustering performed on cross-correlations for the periods (lags $+1$ to -2) related most closely to the SOI observation (Figure 13). A possible Caribbean 'core' with radially diminishing influence is revealed when the tree of group linkages is viewed in reverse. This procedure plots the disposition of groups of stations in which lag cross-correlation characteristics become progressively less dissimilar from the bulk of unclassified stations (Figure 13(b)). The first group to be identified, i.e. those most unlike the rest, consists of the Caribbean 'core', runs from Limón (50) and Freeman (35)

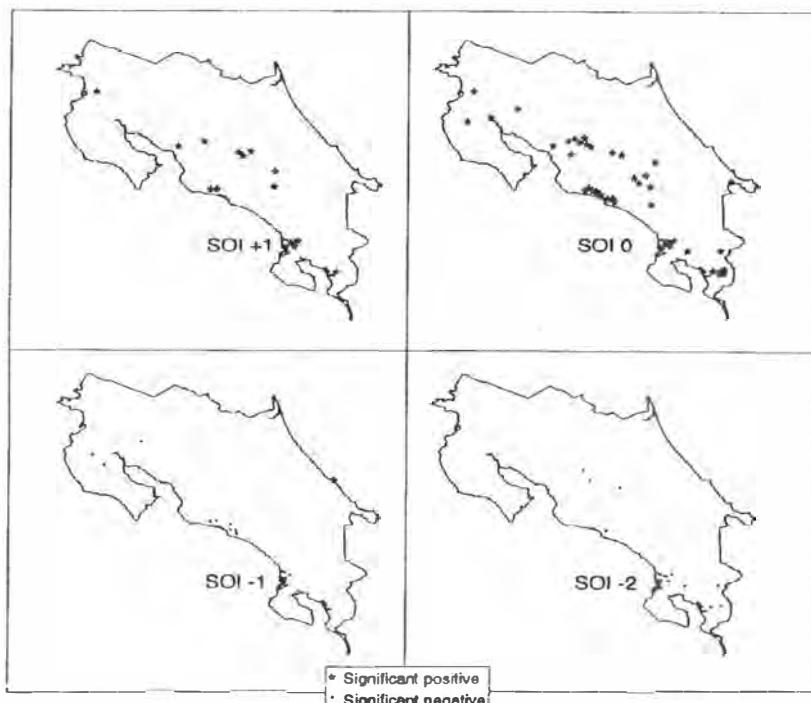


Figure 12. Spatial disposition of stations reporting significant correlations between annual precipitation and the annual Southern Oscillation Index at selected time periods. SOI 0 represents synchronous years of the two variables, negative numbers give the numbers of years after the Southern Oscillation observation in which precipitation is recorded and the positive numbers are years before.

inland through to Vara Blanca (103) in the south-west San Juan basin, and includes Rosemont (79) and Tucurrique (99) in the Reventazón basin. This is followed by a group of stations ringing the Caribbean core from Asunción (2) to Ciudad Quesada (18) and Los Ensayos (55) in the San Juan basin. The group includes portions of the Tárcoles-Reventazón interfluve, and most of the middle Reventazón basin. A group of southern Caribbean stations, from the Sixaola basin to the eastern Tárcoles, is next identified, with an outlier at Los Andes de Orotina (53) in the western Tárcoles basin. The subsequent group corresponds to the north-western Pacific region.

The remaining unclassified stations (dots in Figure 13(b)) represent varying aspects of the Pacific influence and are grouped separately in Figure 13(c), whereas Caribbean stations are left undifferentiated. The north-west Pacific grouping is plotted on both figures 13(b) and 13(c) in order to stress the continuity of the process. The group with the next greatest degree of internal similarity comprises mainly south-western stations, followed by a mid-Pacific clustering, and finally, those that are intermediate to both Pacific and Caribbean coastal influences. There is subjectivity in the interpretation of these objectively defined groupings, many of which possess considerable geographic overlap. This overlap may be a statistical artefact of using cross-correlation coefficients of which only 31.7 per cent are statistically different from zero, or it may reflect the importance of local topography in contributing to the patchwork of groupings especially near regional boundaries. However, the process stresses the Caribbean-Pacific contrast in responses to ENSO and yields groupings that are broadly compatible with those derived from the preceding analysis of interstation correlations.

Probability distributions of rainfall in years of a warm and cold Pacific

The intrinsic variability of precipitation at a site is often represented through appropriate probability distributions. The preceding analyses indicate that the characteristics of annual precipitation and its responses to ENSO vary regionally over Costa Rica. This section identifies differences in the probabilistic description of likely annual precipitation across the study area during unusually warm and cold phases of the South Pacific, by fitting the normal distribution and comparing its parameters, means and variances, under each set of conditions.

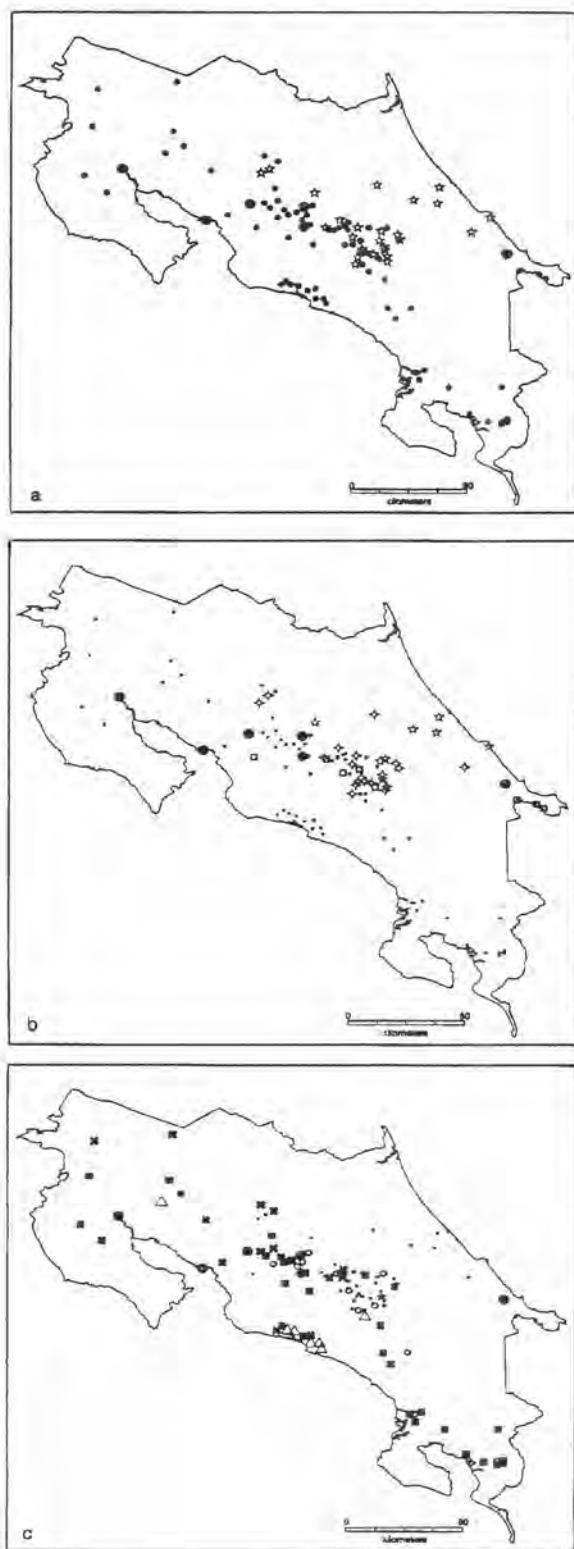


Figure 13. Groupings of stations on the basis of lag cross-correlation characteristics of precipitation and SOI using only lags from +1 to -2 years. (a) Two major groupings, (b) groupings emphasizing differentiation on the Caribbean slope and, (c) groupings emphasizing the structure of groups on the Pacific slope

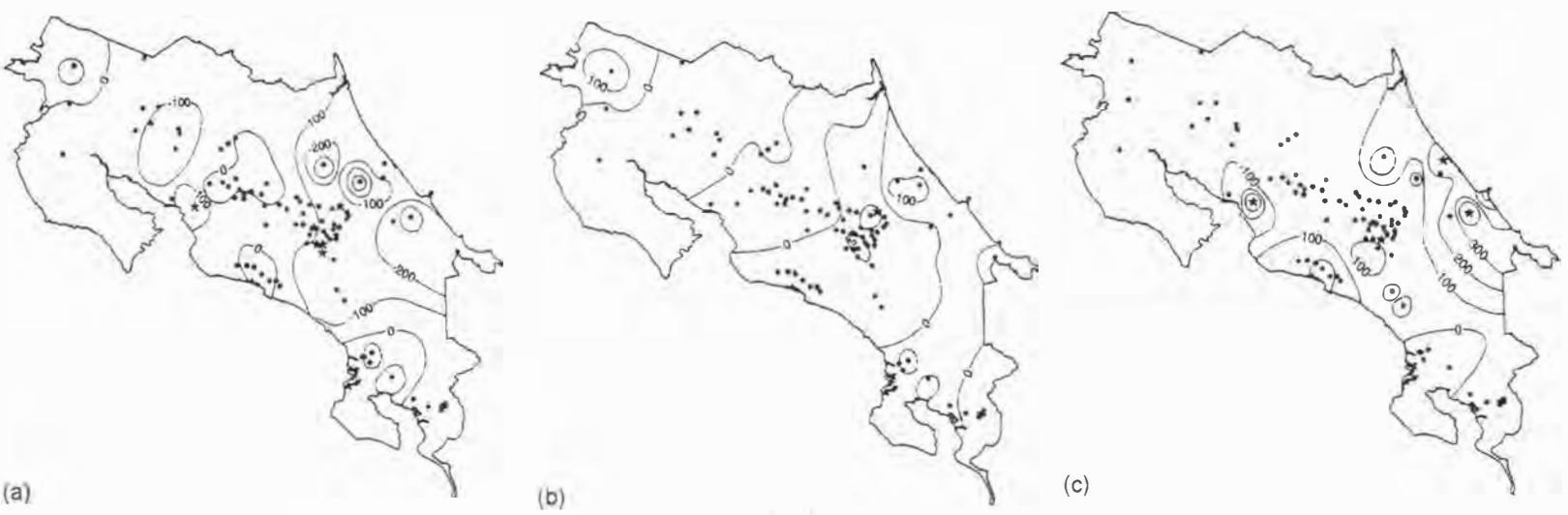


Figure 14. Differences in standard deviations (mm) of annual precipitation between (a) years of warm phase and cold phase Pacific, (b) warm phase and other years, and (c) cold phase and other years. Sites of statistically significant differences (0.05 level) are marked by asterisks

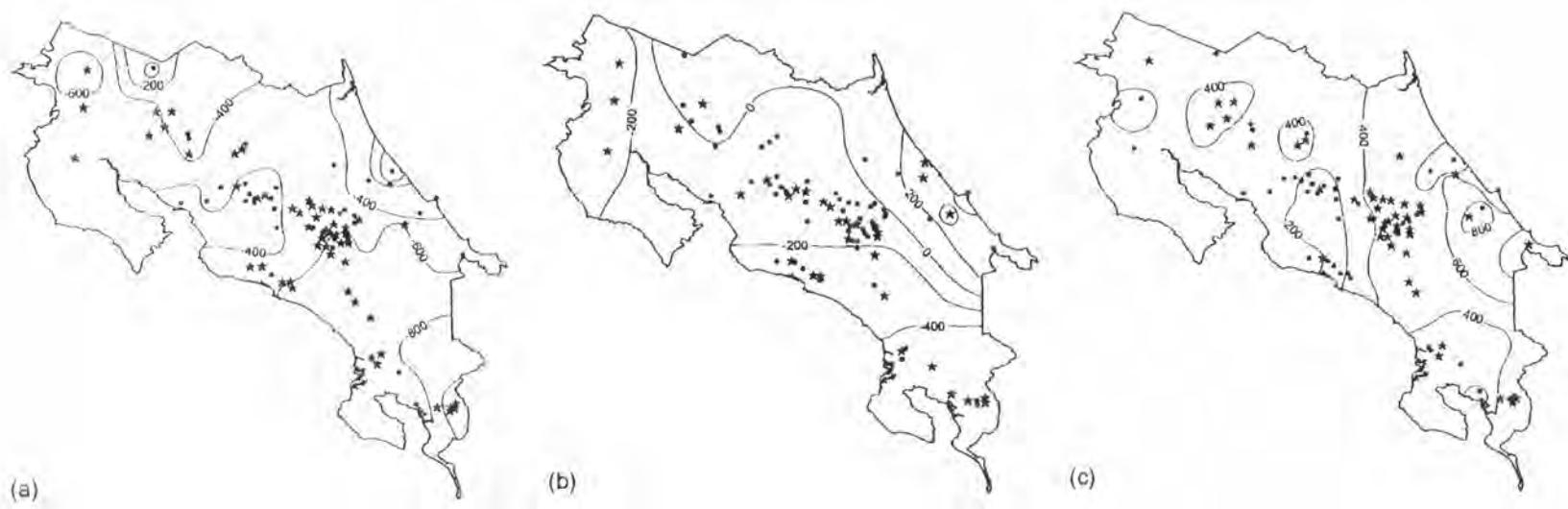


Figure 15. As in Figure 14 except showing differences in mean annual precipitation (mm)

The normal distribution provides an adequate description of the frequency of annual precipitation in each subsample at every site. Very few stations report significant differences in variances between any of the subsamples. For ease of interpretation these data are plotted as differences in standard deviations in Figure 14(a-c). It can be seen that differences in the standard deviation are generally restricted to less than 100 mm, and that the largest changes are often found along the Caribbean slope and in the headwaters of the Reventazón. Generally, standard deviations are lowest in warm years and highest in cold years.

More significant differences are observed in subsample means, particularly along the Pacific slope (Figure 15(a-c)). Reductions in mean annual precipitation between warm and cold years of greater than 400 mm are common over much of the country (Figure 15(a)), and exceed 800 mm in the south-west. Such differences constitute up to 40 per cent of mean annual precipitation (Figure 5). Warm years are plainly coupled with droughts along the Pacific, however, the Caribbean slope shows increased rainfall, reasserting the unique attributes of the region. The anticipated increase of mean precipitation in cold years (Figure 15(c)) along the Pacific is also unexpectedly present along the southern Caribbean slope. In sum, the parameters of the normal distribution vary with the specific condition of the South Pacific, but the changes along the Caribbean coast are more complex than a simple leeward-windward contrast. A study of Panamanian precipitation during the 1975–1976 El Niño (Estoque *et al.*, 1985) bears out the regional persistence of this unexpected result.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Generalized regional statements made by Hastenrath (1976, 1988), Ropelewski and Halpert (1987), and Rogers (1988) concerning the response of annual precipitation in Costa Rica to ENSO phases have been broadly correct. The finer geographical scale used in this study reveals a more complex and varied range of responses, which occasionally contradict previous findings. The complexity arises from differences in dominant precipitation-generating mechanisms, geographical location with respect to topography and oceans, and the lead/lag period considered. Because such factors have been identified previously as controlling precipitation in other areas of Central America (Hastenrath, 1967; Chacón and Fernández, 1985; Cavazos and Hastenrath, 1990; Vargas and Trejos, 1994), these findings may have a broader regional significance.

Interstation correlations indicate that marked contrasts between Caribbean and Pacific coastal stations may persist, to a lesser degree, up to the drainage divide. North-east trades and *nortes* generate precipitation along the Caribbean and a rain-shadow effect on the Pacific. Precipitation on the latter is controlled by the seasonal migration of the eastern Pacific ITCZ and equatorial westerlies. Both are fairly continuous, both inter- and intra-annually, in the south-west, but become shorter in duration and more variable to the north (Hastenrath, 1967, 1976). The mid-Pacific stations lie at the northernmost average position of the ITCZ and are therefore most sensitive to interannual variability of the ITCZ and associated precipitation. Locally, topography may modify this established pattern. Stations that appear to be misclassified geographically often share a common windward or leeward orientation with other stations in the group. The differing orientations of the Central and Talamanca cordilleras produce rain-shadow effects and permit 'leakage' of Pacific influences over the locally lower Caribbean-Pacific divide. Their detection is facilitated by the higher density of recording stations in the Central Valley.

The regional findings are, partially, a function of the clustering algorithm used and the interpretation of the subsequent output. The four groupings derived from the interstation correlation represent only a selected point along the tree of clusterings. Subsequent stages combine the South-west and North-west groups, followed by the mid-Pacific stations, retaining the Pacific–Caribbean differentiation to the last step. Further disaggregation of the groups reduces the spatial cohesion found in the fourfold classification.

Annual precipitation totals are associated most strongly with the SOI during the period extending from the year preceding the SOI observation to two years after it, which is in keeping with the previous analysis of 'wet' and 'dry' years in the regional precipitation time series (Hastenrath, 1976 and 1988). On the basis of the zero-lag cross-correlations, 'dry' years correspond to low SOI values ('warm phases' or 'El Niños'), and 'wet' to high values ('cold phases' or 'La Niñas'), at the Costa Rican stations that might have been included in the aggregate series, with the exception of Limón on the Caribbean coast.

Hastenrath and Lamb (1977) indicate that the 'dry' years are characterized by higher than normal pressures in the North Atlantic anticyclone and lower pressures in the eastern equatorial Pacific, leading to increased resultant

velocities of the north-east trade winds, particularly in July–August, and a reduction of the equatorial westerlies. The trades blow onshore to the Caribbean coast enhancing the rain-shadow effect on the Pacific (Fernández and Ramírez, 1991; Vargas and Trejos, 1994). There is evidence that winds blowing westward through the breaks in the cordilleras induce cold water upwellings on the Pacific side. Such a gap occurs along the Costa Rica–Nicaragua border, inducing an upwelling centre off the country's north-west coast called the Costa Rica dome (Clarke, 1988; Legeckis, 1988; McCreary *et al.*, 1989), the dimensions of which fluctuate, possibly in association with the Southern Oscillation Index (Barberán *et al.*, 1981; Umatani and Yamagata, 1991). Expansion of the dome lowers sea-surface temperatures and restricts northward migration of the ITCZ. The resulting reduction in westerlies and sea breezes may enhance the droughts observed on the Pacific slopes during periods of low SOI.

Pacific stations, particularly those in the south-west, show positive correlations at lags of +1 and zero, and negative correlations in the following 2 years. If years of low SOI are equated with El Niño events, then this fact is in keeping with the ‘canonical El Niño’ of Rasmusson and Carpenter (1983). Warm eastward advecting water from the western equatorial Pacific arrives at the coast of South America in December/January and expands north and south, thereby increasing sea-surface temperatures in the Pacific off Costa Rica and permitting the northward extension of the ITCZ in the following year. Most negative correlations at this time (lag –1) are found in the North-west and Mid-Pacific groups, whereas Limón (50) reports a positive correlation, implying a reduction of precipitation along the Caribbean. The pattern persists, to a lesser degree, into the following year (lag 2), with most significant correlations being restricted to the South-west. This suggests that the westerlies and precipitation associated with the ITCZ are displaced to the northernmost extent in the year following the Southern Oscillation low-phase events but take an additional year, when their displacement is less extensive, to return to ‘normal’.

Vargas and Trejos (1994) report that considerable interannual variability in precipitation along the Pacific coast results from tropical cyclone activity in the Caribbean. Correlation of annual precipitation and the number of tropical cyclones in the Caribbean region defined by Vargas and Trejos (1994), yields significant associations at 23 sites in this study (Figure 16 and Table 1). With the exception of T-Seis (91), all the significant correlations were positive and found on the Pacific coast or in the Central Valley. The number of tropical storms in the North Atlantic has been shown to diminish in the boreal summer of a warming Pacific and increase in cold phases (Gray, 1984),

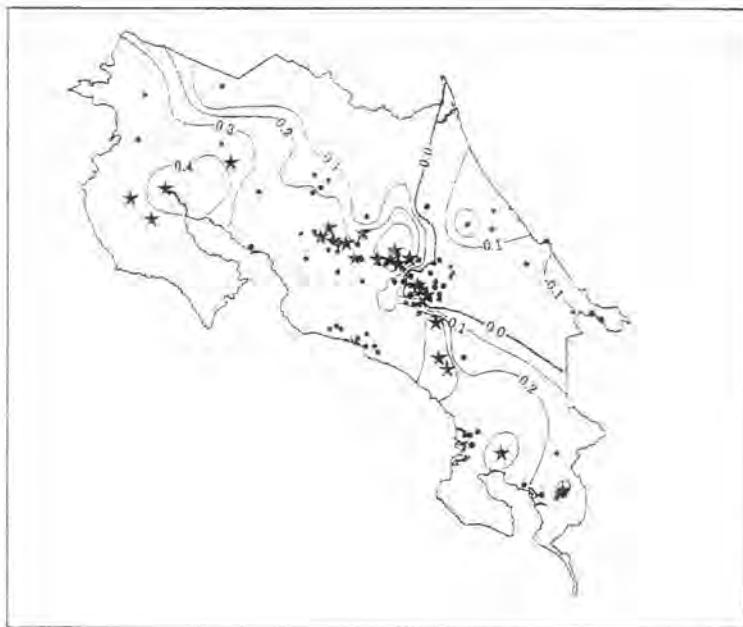


Figure 16. Measure of linear association between annual precipitation totals and the annual number of tropical cyclones in the Caribbean region. Statistically significant results (0.05 level) shown by asterisks

which is consistent with the enhancement of the trade winds over the Caribbean (Hastenrath, 1976) and droughts observed along the Pacific coast during warm phase periods. Again, precipitation along the Caribbean slope appears to behave in the opposite fashion to the Pacific, although not significantly so.

Regional variations in response along the Pacific coast may then be related to the position of the ITCZ, dimensions of the Costa Rica dome and, possibly, tropical cyclone activity in the Caribbean. Such seasonality may be better understood by an analysis of monthly precipitation totals. Similarly, the lack of a single clear response to the SOI among the core stations along the Caribbean, despite the evidence of increased resultant velocities of the north-east trade winds, requires further investigation. The precipitation brought by the trade winds constitutes the first of two maxima on this coast. The later peak, in late autumn and early winter, results from the convergence of coastal winds during *nortes*, the development of which is favoured by high meridional pressure gradients between continental North America and the Caribbean. Because 'wet' years tend to follow 'dry' years (Hastenrath, 1988; Waylen *et al.*, 1994), Hastenrath's 'wet' January/February conditions may follow a 'dry' July/August. Should this be so, then sea-level pressures off the Caribbean coast are higher than normal, and those in the Gulf of Mexico lower, in the January–February period of a *norte* season following a low-phase Southern Oscillation event (Hastenrath, 1976). The meridional pressure gradient, probabilities of *nortes*, and 'winter' precipitation along the Caribbean should all decrease. This may compensate for the increased 'summer' precipitation caused by the north-east trades, thereby producing little or no change in the annual precipitation total at lag-zero. The balance between two different contributing generating processes, displaying opposing tendencies, could explain the absence of any strong, consistent, regional signal along the Caribbean coast. It follows that the interannual variability of precipitation in Costa Rica, and by extension, in other areas of the Central American landbridge, exhibit characteristics that are not only attributable to fluctuations of the Southern Oscillation, but also to circulation conditions over the Caribbean–Gulf of Mexico and the North Atlantic. As a consequence, responses of the whole region to ENSO events are far from being as unitary and consistent as proposed previously and their peculiarities could be better understood with the analysis of monthly precipitation values.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was carried out while the first author was a Hartley Visiting Fellow at the Department of Geography, University of Southampton, England. The financial and logistic support of the University's Committee for Advanced Studies and Geography Department is gratefully acknowledged, particularly the contributions of Drs D. Maddy and J. Milne. Data were acquired by Marvin Quesada with the financial support of a Tinker Fellowship from the Center for Latin American Studies, University of Florida. Data entry was completed with the assistance of Lee Swanson and Karl Merrem. Dr D. LeBoutillier furnished the program for the computation of L-moments.

REFERENCES

- Alpert, L. 1945. 'The Inter-tropical Convergence Zone of the Eastern Pacific Region, I', *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, **26**, 426–432.
- Barberán, J., Gallegos, A. and Padilla, A. R. 1984. 'The Costa Rica Dome during the onset of the 1982–83 El Niño', *Trop. Atmos. Ocean Newslett.*, **24**, 13–14.
- Berndtsson, R. 1988. 'Temporal variability in spatial correlation of daily rainfall', *Water Resour. Res.*, **24**, 1511–1518.
- Bryson, R. A. and Kuhn, P. M. 1961. 'Stress-differential induced divergence with application to littoral precipitation', *Erkunde*, **15**, p. 287–294.
- Cavazos, T. and Hastenrath, S. L. 1990. 'Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation', *Int. J. Climatol.*, **10**, 377–386.
- Chacón, R. E. and Fernández, 1985. 'Temporal and spatial rainfall variability in the mountainous region of the Reventazón River basin, Costa Rica', *J. Climatol.*, **5**, 175–188.
- Chu, P.-S. and Katz, R. W. 1989. 'Spectral estimation from time series models with relevance to the Southern Oscillation', *J. Climate*, **2**, 86–90.
- Clarke, A. J. 1988. 'Inertial wind path and sea surface temperature patterns near the Gulf of Tehuantepec and Gulf of Papagayo', *J. Geophys. Res.*, **93**, 15491–15501.
- Crutcher, H. L. 1975. 'A note on the possible misuse of the Kolmogorov–Smirnov test', *J. Appl. Meteorol.*, **14**, 1600–1603.
- Estoque, M. A., Luque, J., Chandek-Monteza, M. and García, J. 1985. 'Effects of El Niño on Panama rainfall', *Geofis. Int.*, **24**, 355–381.
- Fernández, W. and Ramirez, P. 1991. 'El Niño, La Oscilación del Sur sus efectos en Costa Rica: Una revisión'. *Tecnol. Marcha*, **11**, 3–11.
- García, O., Bosart, L. and DiMego, G. 1978. 'On the nature of winter season rainfall in the Dominican Republic', *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 961–982.
- Gray, W. M. 1984. 'Atlantic seasonal hurricane frequency: Part 1: El Niño and 30 mb quasi-biennial oscillation influences', *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1649–1683.

- Guttman, N. B., Hosking, J. R. M. and Wallis, J. R. 1993. 'Regional precipitation quantile values for the continental United States computed using L-moments', *J. Climate*, **6**, 2326–2340.
- Hastenrath, S. L. 1967. 'Rainfall distribution and regime in Central America', *Arch. Meteorol. Geophys. Bioklimatol. Serie B*, Band 15, Heft 3, 201–241.
- Hastenrath, S. L. 1976. 'Variations in low latitude circulation and extreme climatic events in the tropical Americas', *J. Atmos. Sci.*, **33**, 202–215.
- Hastenrath, S. 1984. 'Interannual variability and annual cycle: mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic sector', *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1097–1107.
- Hastenrath, S. L. 1988. *Climate and Circulation in the Tropics*, Reidel, Dordrecht.
- Hastenrath, S. L. 1990. 'Diagnostics and prediction of anomalous river discharge in northern South America', *J. Climate*, **3**, 1080–1096.
- Hastenrath, S. L. and Lamb, P. J. 1977. *Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans*, The University of Wisconsin Press, Madison, WI.
- Hosking, J. R. M. 1986. *The Theory of Probability Weighted Moments*, Research Report RC 12210, IBM Research, Yorktown Heights, New York (reissued with corrections 1989).
- Intergovernmental Panel on Climate Change 1990. *Climate Change*. World Meteorological Organization, United Nations Environment Program, Cambridge University Press, Cambridge.
- Katz, R. W. 1988. 'Use of cross correlations in the search for teleconnections', *J. Climatol.*, **8**, 241–253.
- Legeckis, R. 1988. 'Upwelling off the Gulf of Panama and Papagayo in the Tropical Pacific, during March 1985', *J. Geophys. Res.*, **93**, 15485–15489.
- Livezey, R. E. and Chen, W. Y. 1983. 'Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques', *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 46–59.
- McCreary, J. P., Lee, H. S. and Enfield, D. B. 1989. 'The response of the coastal ocean to strong offshore winds: with application to circulations in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo', *J. Mar. Res.*, **47**, 81–109.
- Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas 1988. *Instituto Meteorológico Nacional Año del Centenario 1888–1988: Catastro de las Series de Precipitaciones Medidas en Costa Rica*, San José, Costa Rica, 361 pp.
- Neumann, C. J., Jarvinen, B. R., Pike, A. C. and Elms, J. D. (eds) 1988. *Tropical Cyclones of the North Atlantic Ocean*. Historical Climatology Series, 6–2, National Climate Data Center, National Oceanic and Atmospheric Administration, Asheville, NC, 186 p.
- Portig, W. 1965. 'Central American rainfall', *Geogr. Rev.*, **55**, 68–90.
- Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A. and Vetterling, W. T. 1988. *Numerical Recipes: the Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Rasmusson, E. M. and Carpenter, T. H. 1983. 'The relationship between eastern equatorial Pacific sea surface temperatures and rainfall over India and Sri Lanka', *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 517–28.
- Rogers, J. C. 1988. 'Precipitation variability over the Caribbean and tropical Americas associated with the Southern Oscillation', *J. Climate*, **1**, 172–82.
- Ropelewski, C. F. and Halpert, M. S. 1987. 'Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation', *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1606–1626.
- Schneider, U. and Schönwiese, C.-D. 1989. 'Statistical characteristics of El Niño/Southern Oscillation and North Atlantic Oscillation indices', *Atmosfera*, **22**, 34–47.
- Umatani, S. and Yamagata, T. 1991. 'Response of the eastern tropical Pacific to meridional migration of the ITCZ: the generation of the Costa Rica Dome', *J. Phys. Oceanogr.*, **21**, 346–363.
- Vargas, A. B. and Trejos, V. F. S. 1994. 'Changes in the general circulation and its influences on precipitation trends in Central America: Costa Rica', *Ambio*, **23**, 87–90.
- Waylen, P. R., Quesada, M. E. and Caviedes, C. N. 1994. 'The effects of El Niño on precipitation in San José, Costa Rica', *Int. J. Climatol.*, **14**, 559–568.
- Wolter, K. 1987. 'The Southern Oscillation in surface circulation and climate over the tropical Atlantic, eastern Pacific, and Indian Oceans as captured by cluster analysis', *J. Clim. Appl. Meteorol.*, **26**, 540–558.

THE EFFECTS OF EL NIÑO-SOUTHERN OSCILLATION ON PRECIPITATION IN SAN JOSÉ, COSTA RICA

PETER R. WAYLEN

Department of Geography, University of Florida, Gainesville, Florida 32611, USA

MARVIN E. QUESADA

Apartado Postal 390, Grecia, Alajuela, Costa Rica

AND

CÉSAR N. CAVIEDES

Department of Geography, University of Florida, Gainesville, Florida 32611, USA

Received 26 May 1992

Accepted 6 August 1993

ABSTRACT

The effects of interannual variations in El Niño-Southern Oscillation (ENSO) upon annual, seasonal and monthly precipitation totals of San José, Costa Rica, over the period 1882–1987 are analysed using both a Southern Oscillation index (SOI) and a classification of El Niño and anti-El Niño years. The analyses confirm the posited regional positive relationship between annual precipitation and the SOI and suggest that estimates of the probabilities of annual rainfall could be made successfully by using a mixed probability distribution that incorporates changes in both the mean and variance of precipitation under each of the three classes of El Niño activity. Strong seasonality is identified in the effects of ENSO, particularly in the months of July, August, and October, whereas the month of September seems unaffected. Monthly lead lag analyses imply that there may also be a reversal of the nature of association between the SOI and precipitation in the following year.

KEY WORDS Precipitation Costa Rica El Niño-Southern Oscillation Probability distribution

INTRODUCTION

Knowledge of the risk of precipitation extremes is important in planning for the optimal use of water resources for a variety of purposes, including human consumption, irrigation, and power generation. This information is also pertinent to the design of hydraulic structures such as bridges and culverts, land use planning in river valleys, soil protection, and the provision of emergency services. Precipitation results from a complex of natural processes acting at global, regional and local scales, and is subject to temporal fluctuations at each one of these. Frequently, information concerning likely future average precipitation conditions and variations about that condition is required for the purposes of long-term decision making. Deterministic forecast models are generally inadequate in making projections two or three time periods beyond the present, and therefore such estimates are often made from prediction models that reproduce the probabilistic structure of the historic meteorological records. It is the purpose of this paper to identify this stochastic structure in the annual, seasonal, and monthly precipitation record of San José, Costa Rica over the period 1882–1987, with particular emphasis on the possible role of the El Niño-Southern Oscillation (ENSO) phenomenon.

A possible connection between the average levels of precipitation received throughout Central America in general, and specifically Costa Rica, and ocean-atmosphere conditions in the southern Pacific has to

some degree been detailed (Ropelewski and Halpert, 1987; Rogers, 1988), however, the general paucity of long-term meteorological records in Central America has resulted in a certain lack of interest in the regional, as opposed to global, scale. Ropelewski and Halpert (1987) and Rogers (1988) searched for global and hemispherical patterns of precipitation in response to atmospheric-ocean conditions in the equatorial Pacific that correspond to the low and high phases of the atmospheric component, the Southern Oscillation; known respectively as El Niño and anti-El Niño in the oceanic component. They conclude that there is a statistically significant reduction in the average precipitation of San José during two periods, July through to September and October through to December, immediately preceding the classical period of El Niño (December–March) along the Peruvian coast. This is potentially related to changes in the elevation of the local 200-hPa pressure surface.

Hastenrath (1990) highlights the significance of the position of the Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ) to precipitation and runoff in the Madden catchment, northern Panama (9°N). Monthly discharges in August are positively correlated with sea-level pressures and negatively correlated to sea-surface temperatures in the equatorial Pacific, whereas the opposite signs prevail in correlations with the Atlantic. Increased runoff appears to be associated with weakened Caribbean trade winds and increased cross equatorial westerly flow from the eastern Pacific, resulting from a northward displacement of the ITCZ in years of high Southern Oscillation indices (anti-El Niño conditions). Cavazos and Hastenrath (1990) attribute increased convectional precipitation in Mexico to a similar set of climatological conditions.

GENERALIZED SEASONAL PATTERN OF PRECIPITATION

Extensive studies of the climate of Costa Rica are scarce, although the excellent long-term record (1869–1988) at San José has led to its inclusion in several regional and global studies. San José lies within the Central Valley of Costa Rica, protected to the north and east by the Cordillera Central and to the south by the Cordillera de Talamanca, but is more exposed westwards towards the Pacific (Figure 1).

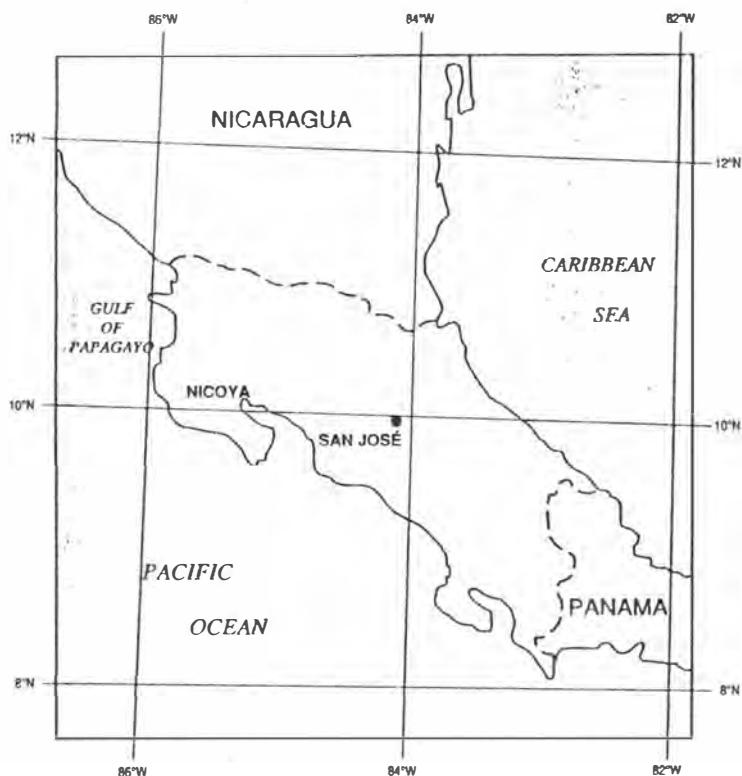


Figure 1. Location of San José and other geographical features mentioned in the text

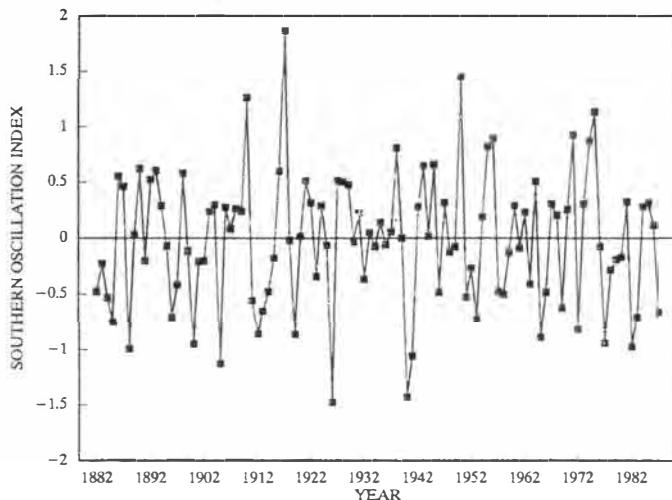


Figure 2. Time series of the annual Southern Oscillation index (source: Schneider and Schönwiese, 1989)

The atmospheric circulation is dominated by the north-east trades (Hall, 1985). During the boreal winter (November–March) the ITCZ is located well south of Costa Rica (Hastenrath, 1990) and San José lies in the rain shadow of the Cordillera Central. Northward migration of the ITCZ in summer reduces pressure, enhances convectional precipitation and induces a slight monsoon effect with weak equatorial westerlies penetrating from the Pacific coast. This westerly flow may be enhanced by strong sea-breezes in the summer.

SOUTHERN OSCILLATION INDEX

Several indices have been proposed as measures of the annual pattern of atmospheric–ocean circulation in the tropical South Pacific. Ropelewski and Halpert (1987) used the classification of Rasmusson and Carpenter (1983), Rogers (1988) used that of van Loon and Madden (1981), and Hastenrath (1990) estimates differences in pressure between Tahiti and Darwin, Australia. This study uses the extensive (1882–1987) composite series of monthly index values compiled by Schneider and Schönwiese (1989) based on sea-level pressure anomalies between Tahiti and Darwin, normalized by the overall standard deviation. Negative values of the index imply smaller pressure differences and El Niño conditions in coastal Peru, whereas positive values suggest a steep pressure gradient between Darwin and Tahiti, and anti-El Niño conditions (Figure 2).

CLASSIFICATION OF OCEANIC CIRCULATION

Unlike other lists of El Niño events (e.g. Quinn *et al.*, 1987), the classification used in this paper, based on the listing of Caviedes and Waylen (1991), also includes cold-ocean episodes, defined partly on records of sea-surface temperatures in coastal Peru and droughts in central Chile. A full listing of the classification is provided in Table I.

METHODOLOGY

The selection of a probability distribution to represent precipitation totals is generally constrained by the skewness of the original data, this is determined by the number of days of precipitation and the quantity of precipitation delivered in the period of interest (month, season, or year, in this case). Climatological studies have traditionally used the gamma distribution (Thom, 1958) or some variant, whereas hydrological studies have used the Gaussian or log-Gaussian (Markovic, 1965; Stedinger, 1980). When precipitation totals are high and skewness is low, both gamma and Gaussian distributions approach one another.

Table I. Classification of years of precipitation at San José based on the Southern Oscillation Index of the subsequent November–April period

Years followed by anti-El Niño	Years followed by El Niño	Normal years	
1889	1890	1888	1939
1891	1895	1893	1943
1892	1896	1894	1945
1897	1899	1898	1946
1903	1902	1900	1947
1907	1904	1901	1951
1909	1906	1905	1956
1923	1911	1908	1960
1927	1913	1910	1961
1932	1916	1912	1962
1938	1918	1914	1965
1942	1925	1915	1968
1944	1930	1917	1969
1948	1931	1919	1971
1949	1940	1920	1976
1954	1941	1921	1977
1955	1950	1922	1978
1959	1952	1924	1979
1963	1953	1926	1980
1966	1957	1928	1981
1967	1958	1929	1985
1970	1964	1933	1987
1973	1972	1934	1988
1974	1975	1935	
1983	1976	1936	
1984	1982	1937	
	1986		

However, when more than one set of global generating conditions (e.g. El Niño and anti-El Niño) are known to exist it is inappropriate to use a single probability distribution to represent the suite of future possible conditions. Under these circumstances each individual set of generating conditions is modelled by a separate distribution, F , and combined in proportion to its frequency of occurrence, ρ , to provide the following overall probability model:

$$F_T(X \leq x) = \rho_1 F_1(X \leq x) + \rho_2 F_2(X \leq x) + \rho_3 F_3(X \leq x) \quad (1)$$

where the subscripts refer to the three sets of generating process, El Niño, anti-El Niño, and normal. In this study both the Gaussian and gamma probability distributions are used to represent the distributions under each condition. The cumulative distribution function of the Gaussian distribution is given as:

$$F(X \leq x) = \int_{-\infty}^x 1/[\sigma(2\pi)^{0.5}] \exp[-((t - \mu)^2)/(2\sigma^2)] dt \quad (2)$$

where μ and σ^2 are the mean and variance respectively. The cumulative distribution function of the gamma distribution is given as:

$$F(X \leq x) = \int_{-\infty}^x \lambda^\eta t^{\eta-1} e^{-\lambda t} / \Gamma(\eta) dt \quad (3)$$

where η and λ are the scale and location parameters respectively.

This paper proceeds by dividing the observations of each precipitation variable into one of three subgroups, El Niño, normal, or anti-El Niño, according to the classification presented in Table I. The

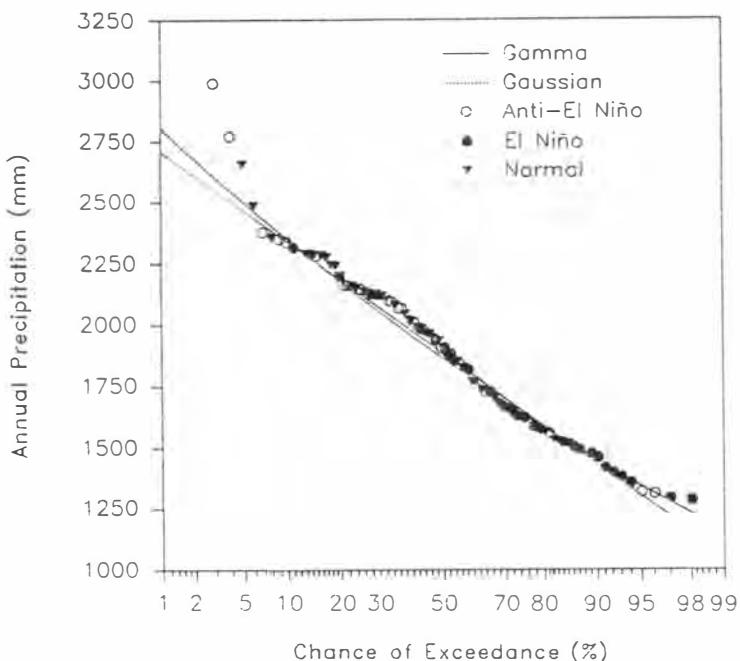


Figure 3. Probability distribution of annual precipitation totals and the fitted gamma and Gaussian functions. Annual observations are classified according to atmosphere–ocean conditions in the tropical South Pacific

relative proportion of the entire series allocated to each subgroup yields the estimates of the ρ terms in equation (1). The mean and variance of each subgroup are calculated and compared using a two-sample t -test and Fisher's F -test at the 0.05 level. An overall probability distribution, F_T which combines all three sets of characteristics is then determined. Finally, the nature and strengths of linear associations between contemporary, past, and future monthly precipitation totals at San José and the monthly Southern Oscillation index (SOI) are investigated for possible leads and lags using cross-correlation and regression.

RESULTS

Precipitation totals

In Figure 3 the exceedance probabilities of observed annual precipitation totals are plotted on Gaussian probability paper. There appears to be a preponderance of drier years associated with El Niño events and more excessive precipitation with anti-El Niño years. Neither of the fitted distributions can be considered significantly different from the observed data using a Kolmogorov–Smirnov goodness of fit test at the 0.05 level. The mean and standard deviation of the data are 1884 mm and 352.4 mm respectively, and yield an η parameter of the gamma distribution of 28.3. Stegun and Abramovich (1972) point out the similarity in the shape of the normal and gamma distributions when this parameter exceeds 26. Subdivision of the data on the basis of ocean–atmosphere conditions yields three subsamples which are not significantly different from a Gaussian distribution, with sample statistics that reflect the influence of El Niño conditions (Table II). Anti-El Niño years produce the largest mean and standard deviation (2031 mm and 410 mm) and El Niño years the smallest (1724 mm and 280 mm). The means of annual precipitation in El Niño and anti-El Niño years are significantly different from each other but cannot be considered so from the remaining subsample.

Table II. Descriptive statistics of monthly, seasonal and annual rainfall totals (mm) subdivided upon the basis of El Niño conditions

	Mean			Standard deviation		
	Anti-El Niño	Normal	El Niño	Anti-El Niño	Normal	El Niño
January	7.0	7.5	15.6	8.6	12.2	22.9
February	5.5	6.4	4.5	10.7	12.1	5.6
March	11.2	12.3	10.2	19.3	18.8	13.4
April	52.0	40.1	59.0	45.9	43.0	40.8
May	249.3	221.1	245.0	112.0	84.1	161.0
June	314.1	286.1	266.0	94.0	89.2	83.5
July	227.9	205.0	220.1	77.9	99.8	102.3
August	282.2	252.9	209.4	108.8	102.6	108.9
September	323.6	354.4	296.7	104.6	109.8	108.7
October	353.3	358.6	220.3	98.5	101.1	71.6
November	143.1	141.0	128.4	101.7	77.2	84.5
December	40.5	42.5	41.1	35.4	35.7	33.7
Annual	2031.4	1916.1	1724.5	410.6	317.7	280.3
Rainy season	1501.2	1444.0	1211.3	271.3	255.4	256.7

Significant differences in precipitation totals are also detectable at time periods of aggregation of less than 1 year. Defining a local 'rainy season' as the months June–October (inclusive) yields an overall distribution of seasonal precipitation and subsamples that are not significantly different from either a Gaussian or gamma distribution. The respective parameters of the gamma distributions are still greater than 26, with the exception of the El Niño subsample, in which it drops to 23. Lower mean seasonal precipitation totals are experienced in El Niño years than in either anti-El Niño or normal years (see Table II). At the monthly level, the gamma distribution provides a superior fit, even in the wettest of months. The variance of monthly totals increases with respect to the monthly means, yet the means in both August and October are significantly lower under El Niño conditions than during other years. The results of the standard test of differences in means must be viewed with caution because of the non-Gaussian distribution of the data. Generally, the effect of violating this assumption is to reduce the level of significance of the results rather than invalidating the procedure. The difference in means is most pronounced in October, when mean precipitation drops from approximately 355 mm to 220 mm. In each of these smaller time periods the probability distribution of precipitation totals must therefore be regarded as the combination of at least two sets of generating conditions (El Niño and non-El Niño).

Correlation analyses

As there appears to be some relationship between atmosphere–ocean conditions in the tropical South Pacific and precipitation in San José, it is reasonable to try to further quantify that relationship. Figure 4 plots mean annual values of the SOI against annual precipitation at San José. The correlation coefficient is low (0.0877) yet the slope (173.5) is significantly different from zero. The exact nature of the relationship between the SOI and precipitation is clouded by the time lag between the low phase of the Southern Oscillation and the rainy season in San José. To more clearly define the nature of any lag–lead relationship of the types identified globally by Ropelewski and Halpert (1987), cross-correlation analyses are carried out between monthly values of the SOI and monthly precipitation totals. Each historic series of monthly precipitation totals is correlated with monthly values of SOI in both the preceding and subsequent 24-month period. Thus 49 cross-correlations (including lag time of zero) are performed on each of the 12 monthly time series. The slope of the best-fit regression line and its statistical significance are recorded in Figure 5. Statistically significant regressions are identified, as are time lags corresponding to periods during which El Niño activity may be identified most clearly in the SOI.

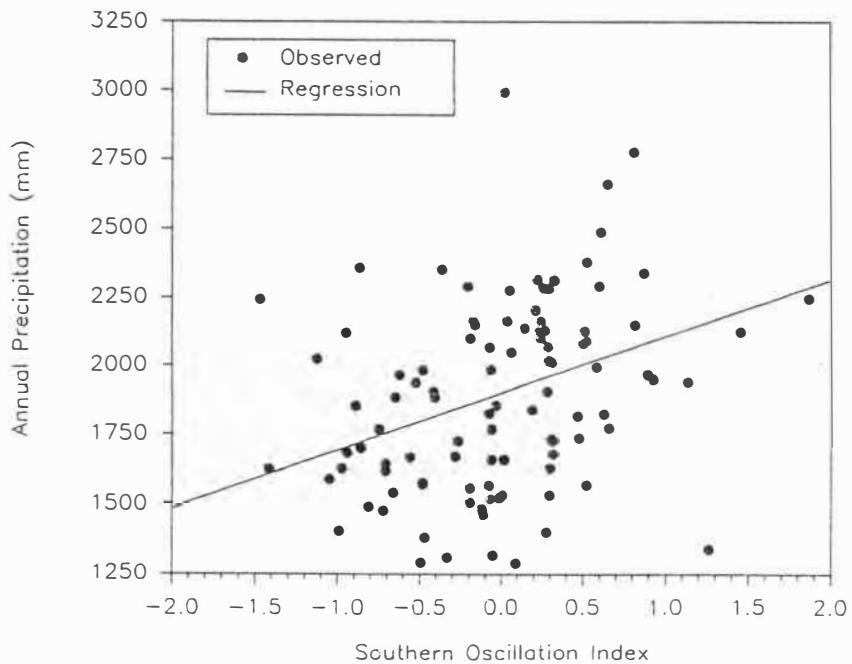


Figure 4. Scatter plot of annual precipitation and the annual Southern Oscillation index, and the best-fit linear regression line

REGRESSION SLOPES

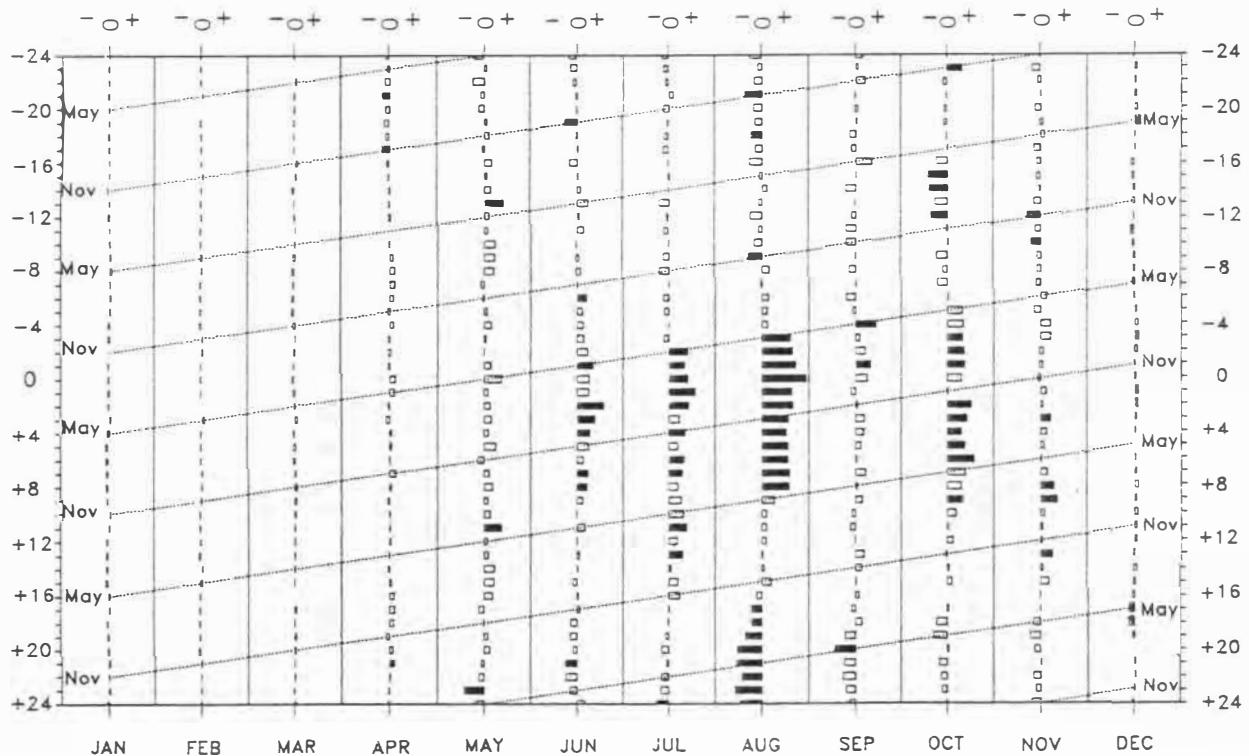


Figure 5. Cross-lag correlations between monthly precipitation totals and the monthly Southern Oscillation index. Positive lags represent atmosphere-ocean conditions preceding the monthly precipitation. Filled histograms represent slopes of the linear regression model that are statistically significant

The months of the rainy season are clearly periods when larger valued slopes exist in the relationships. With a few exceptions all the statistically significant cross-correlations are restricted to the period June through to October. Of these, only September's precipitation shows no relationship to SOI in the preceding or subsequent 24-month period. All other monthly precipitation totals in the rainy season display significant positive relationships at lag 0 (the month's precipitation and the SOI in the same month). This is to be expected from the first set of results, but confirms the association of El Niño in the South Pacific and a likely reduction of precipitation in San José.

It is also interesting to note that this positive correlation is maintained at various lags whenever those lags correspond to the months of El Niño activity following the month of precipitation. For example, cross-correlations for the month of August remain significant and positive while SOI is lagged by up to eight positive increments (i.e. 8 months *after* August, or the following April), similarly October's correlations remain significant up to 6 months after the month of precipitation (until April). By contrast there are few significant relationships with SOI values in the *preceding* months of most likely El Niño activity, and there appears to be no consistent pattern of slope or timing to these results. This supports the *a priori* assumption made in the analysis of precipitation totals, that San José experiences a modification in its precipitation in the rainy season (boreal summer) *preceding* the arrival of El Niño off the coast of Ecuador and Peru (boreal winter).

There is a second, less pronounced, signal contained in Figure 5, which should be interpreted warily. The signs of all regression slopes become negative when monthly precipitation is regressed against the SOI in months of high positive lag (+15 to +24). These negative slopes are significant in June, July, and August and are visually discernible in September and October. They generally commence at lags corresponding to time periods that are 1 year later than the ENSO period immediately following the monthly rainfall of interest. In the case of August the negative slopes commence at lag +16 months, i.e. December of the following calendar year. This change in the sign of the relationship suggests that years of a particular ENSO conditions (e.g. El Niño/anti-El Niño) have a tendency to be followed by years of the opposite condition. Some caution should be taken in the strict statistical interpretation of these correlations. Katz (1988) and Chu and Katz (1989) warn of the possible statistical pitfalls of this approach. The Southern Oscillation is indeed a quasi-periodic phenomenon, as its name suggests. Chu and Katz (1985) report that autocorrelation within monthly time series of such indices may be as high as 0.6. Such strong periodic behaviour in one variable alone may be sufficient to spuriously generate such changes in the sign of the correlations.

CONCLUSIONS

The probability of achieving levels of annual, seasonal and certain monthly precipitation totals in San José appears to be conditioned partially upon atmosphere-ocean conditions in the South Pacific. In particular, there is an increased likelihood of lower precipitation totals immediately preceding a period of low SOI values (periods of El Niño along the coast of western South America). Higher precipitation totals may occur in years of high SOI (anti-El Niño), but the increases are not statistically significant. The reduction in precipitation is restricted to the period June through to October, although September totals appear to diminish minimally. Previous studies have noted droughts in years of low SOI, but have not provided this level of detail. Ropelewski and Halpert (1987) and Rogers (1988) only identified the period of increased pluvial conditions as being July through to December. There are also indications that years of drought may be followed by excessive rains, thereby compounding the problems of water managers. Some independent verification of this tendency can be obtained from consideration of unpublished data of the Instituto Meteorológico Nacional of Costa Rica, which simply divides the annual precipitation data from 1885 to 1978 into quintiles. Eighteen years were classified in the lowest quintile (very dry), 11 of these were followed immediately by years classified in the highest two quintiles ('wet' and 'very wet'). In nine of the eleven transitions the first year corresponded to an El Niño year according to Table 1.

The probabilities of *any* precipitation total may be estimated using the results of this paper and the likelihood of such an event under each set of atmosphere-ocean condition compared. Previous research has been restricted to discussions of mean annual or seasonal precipitation, but it is a consideration of the

more extreme periods of drought and pluvial conditions that are of the greatest importance in practical applications.

The numerical findings of this research are supported by the available information on the precipitation generating mechanisms prevailing in the region. The reduction in precipitation occurs at that time of year when the winds over San José are most likely to be off the Pacific (Hall, 1985). Generally the wind pattern on the western side of the country is dominated by north-east trades. However, the northward migration of the ITCZ in summer may bring a seasonal monsoon effect of onshore winds to the west coast (Hastenrath, 1990). There is some physical oceanographic evidence to suggest that the north-western coast of Costa Rica is frequently affected by upwellings of cold water in the Gulf of Papagayo (Clarke, 1988; Legeckis, 1988; McCreary *et al.*, 1989). The extent of the upwelling is proportional to the strength of the north-east trades passing through gaps in the cordillera of Central America. They not only produce local temperature inversions, which inhibit precipitation generating processes and may additionally restrict the northern movement of the ITCZ thereby reducing the frequency of summer onshore winds, but also act as activators of the upwelling centre in the tropical north-eastern Pacific known as the 'Costa Rica Dome'. During July and August 1982, preceding the severe 1982–1983 El Niño, Barberán *et al.* (1984) observed an intensification of the upwelling of cold water in the dome by comparison with observations made in 1979, resulting in a southward and eastward (landward) expansion of its limits. On the basis of this observation preceding a major El Niño event, the detailed oceanographic observations in the Gulf of Papagayo, the timing of rainfall reductions, and the correspondence of the location of the dome and the seasonal wind directions, the physical hypothesis supporting the numerical conclusions seems reasonable.

If the postulated physical cause of droughts on the Pacific slope of Costa Rica is correct, there should be considerable spatial and temporal variability in the severity of the precipitation reduction in Central America. At present, the Central American and Caribbean regions are grouped as having similar responses to ENSO (Ropelewski and Halpert, 1987; Rogers, 1988) on the basis of records at a limited number of sites. A finer geographical differentiation than has so far been published in the scientific literature may be necessary. Only those areas receiving precipitation from the Pacific seem to be directly affected, whereas those dominated by Atlantic air masses show less propensity for droughts and even increased precipitation. Those areas closest to the Costa Rica Dome and associated gaps in the cordillera demonstrate the greatest susceptibility to drought and most constant relationship to SOI. Umatani and Yamagati (1991) contend that the Costa Rica Dome begins to expand in late spring and reaches its maximum extent and intensity in summer and early autumn. This observation supports the contention that the cause of the summer drought is the inhibiting role of the dome on the northward excursion of the ITCZ. Popular press reports indicate that, indeed, the area of the Nicoya peninsula in north-west Costa Rica is most prone to droughts during strong El Niño events. A similar geographical study of precipitation records throughout the country will be of great practical benefit, and may also help to shed light on the geographical origin of the physical disruption.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was partially funded by a Tinker Fellowship from the Center for Latin American Studies, University of Florida and by a Hartley Visiting Fellowship provided by the Committee for Advanced Studies, University of Southampton. The authors also thank the Instituto Meteorológico Nacional of Costa Rica and Mr Alan Burn, Cartographic Unit, University of Southampton for their cooperation, and the anonymous reviewers for their helpful comments.

REFERENCES

- Barberán, J., Gallegos, A. and Padilla, A. R. 1984. 'The Costa Rica Dome during the onset of the 1982–83 El Niño,' *Trop. Atmos. Ocean News.*, **24**, 13–14.
- Cavazos, T. and Hastenrath, S. 1990. 'Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation', *Int. J. Climatol.*, **10**, 377–386.
- Caviedes, C. N. and Waylen, P. R. 1991. 'Chapters for a climatic history of South America', in Endlicher, W. and Großmann, H. (eds), *Beiträge zur Regionalen und Angewandten Klimatologie*, Institute für Physische Geographie, University of Freiburg.

- Chu, P.-S. and Katz, R. W. 1985. 'Modeling and forecasting the Southern Oscillation: a time-domain approach', *Mon. Wea. Rev.*, **113**, 1876–1888.
- Chu, P.-S. and Katz, R. W. 1989. 'Spectral estimation from time series models with relevance to the Southern Oscillation', *J. Climate*, **2**, 86–90.
- Clarke, A. J. 1988. 'Inertial wind path and sea surface temperature patterns near the Gulf of Tehuantepec and Gulf of Papagayo', *J. Geophys. Res.*, **93**, 15491–15501.
- Hall, C. 1985. *Costa Rica. A Geographical Interpretation in Historical Perspective*, Westview Press, Boulder, CO.
- Hastenrath, S. 1990. 'Diagnostics and prediction of anomalous river discharge in northern South America', *J. Climate*, **3**, 1080–1096.
- Katz, R. W. 1988. 'Use of cross correlations in the search for teleconnections', *J. Climatol.*, **8**, 241–253.
- Legeckis, R. 1988. 'Upwelling off the Gulfs of Panama and Papagayo in the Tropical Pacific, during March 1985', *J. Geophys. Res.*, **93**, 15485–15489.
- Markovic, R. D. 1965. *Probability Functions of Best Fit to Distributions of Annual Precipitations and Runoff*, Hydrology Paper 8, Colorado State University, Fort Collins, CO.
- McCreary, J. P., Lee, H. S. and Enfield, D. B. 1989. 'The response of the coastal ocean to strong offshore winds: with application to circulations in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo', *J. Mar. Res.*, **47**, 81–109.
- Quinn, W. H., Neal, V. T. and Antunez de Mayolo, S. 1987. 'El Niño occurrences over the past four and a half centuries', *J. Geophys. Res.*, **92**, 14449–14461.
- Rasmusson, E. M. and Carpenter, T. H. 1983. 'The relationship between eastern equatorial Pacific sea surface temperatures and rainfall over India and Sri Lanka', *Mon. Wea. Rev.*, **111**, 517–528.
- Rogers, J. C. 1988. 'Precipitation variability over the Caribbean and tropical Americas associated with the Southern Oscillation', *J. Climate*, **1**, 172–182.
- Ropelewski, C. F. and Halpert, M. S. 1987. 'Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation', *Mon. Weat. Rev.*, **115**, 1606–26.
- Schnieder, U. and Schönwiese, C. D. 1989. 'Statistical characteristics of El Niño/Southern Oscillation and North Atlantic Oscillation indices', *Atmosfera*, **22**, 34–47.
- Stedinger, J. R. 1980. 'Fitting log normal distributions to hydrologic data', *Water Resour. Res.*, **16**, 481–490.
- Stegun, I. A. and Abramovitz, M. 1972. *Handbook of Mathematical Functions*, US National Bureau of Standards, Applied Mathematics Series No. 55.
- Thom, H. C. S. 1958. 'A note on the gamma distribution', *Mon. Wea. Rev.*, **86**, 117–122.
- Umatani, S. and Yamagata, T. 1991. 'Response of the eastern tropical Pacific to meridional migration of the ITCZ: the generation of the Costa Rica Dome', *J. Phys. Oceanogr.*, **21**, 346–363.
- Van Loon, H. and Madden, R. A. 1981. 'The Southern Oscillation. Part 1: Global associations with pressure and temperature in northern winter', *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 1150–1162.

Interannual Variability of Monthly Precipitation in Costa Rica

PETER R. WAYLEN AND CÉSAR N. CAVIEDES

Department of Geography, University of Florida, Gainesville, Florida

MARVIN E. QUESADA

Grecia, Alajuela, Costa Rica

(Manuscript received 18 September 1995, in final form 8 April 1996)

ABSTRACT

The varied monthly precipitation data of stations across Costa Rica are assigned to one of five regions, each of which displays a distinct precipitation regime. Peaks and troughs in each regional regime reflect the relative contribution and timing of the major precipitation-bearing winds flowing from the Pacific, the Caribbean, and continental North America. Lag cross-correlations with a Southern Oscillation index reveal different regional associations, and at differing times, with fluctuating atmosphere–ocean conditions in the tropical Pacific. Patterns of correlations are coherent within each region, but display interregional differences that are more marked than previously suggested. The Pacific coast experiences drought shortly before and during the onset of an ENSO event. The Caribbean coast receives increased summer precipitation but decreased winter rains during these episodes. The interior regions of the country display a mixed response to these events. In the years following a warm phase ENSO the signs change abruptly as the cold ENSO phase sets in, indicating a more complex sequence of environmental changes than a simple, single drought. This is most pronounced along the Caribbean coast, where the summer and winter seasonal rainfalls exhibit opposing associations to the same atmosphere–ocean conditions.

1. Introduction

Most Central American nations have to cope with the economic and social sequels of warm phase El Niño–Southern Oscillation events. Their effects upon precipitation in the region are far more complex and varied than previously recognized, inducing floods and droughts in regions separated only by short distances, sometimes simultaneously or in varying seasons. Possible explanations for this complexity relate to the isthmian nature of that region, as it joins the large land masses of North and South America and separating the equatorial and tropical portions of the Pacific and Atlantic Oceans. Each of these entities influences, to different degrees and at various times during the year, regional precipitation patterns and produces diverse responses to ENSO-related changes in atmosphere–ocean circulation. Reliable estimates are required not only of the geographic bounds, positive or negative character, and magnitude of such associations, but also as to their timing and duration.

The present research employs a large set (105) of monthly precipitation totals to distinguish monthly pre-

cipitation regimes within Costa Rica, using simple statistical clustering procedures. Temporal variability of monthly precipitation within each region is associated with atmosphere–ocean activity in the Tropical Pacific and Atlantic Oceans through their lag cross-correlations with Southern Oscillation (SOI) and North Atlantic Oscillation (NAOI) indices, as defined by Schneider and Schönwiese (1989). It is hypothesized that these major controls influence interannual variability of precipitation in Costa Rica and that a characteristic spatial–temporal chain of interactions may be established, linked to physical meteorological and oceanographic observations.

2. Previous studies

Annual regimes of precipitation in Central America and their physical generating mechanisms are well documented (Portig 1965; Hastenrath 1967; Zárate 1978; Chacón and Fernández 1985). Hemispheric- and global-scale studies, atmosphere–ocean circulation variabilities, such as the El Niño–Southern Oscillation phenomenon, indicate drought in boreal summer (July through October) preceding a major low phase ENSO event (Hastenrath 1976, 1988; Intergovernmental Panel on Climate Change 1991; Rogers 1988; Ropelewski and Halpert 1987; Aceituno 1988). However, this regional association is the weakest of those ob-

Corresponding author address: Dr. Peter R. Waylen, Department of Geography, University of Florida, 3141 TUR, P.O. Box 117315, Gainesville, FL 32611-7315.
E-mail: prwaylen@geog.ufl.edu

served by Ropelewski and Halpert (1987) and appears to be absent along the Caribbean slope (Waylen et al. 1996). Heavier precipitation is experienced on the Pacific slope during the year following a drought (Ministerio de Recursos Naturales, Energia y Minas 1988; Hastenrath 1976), and this condition may persist a further year in the extreme southwest of the country. Most previous studies have not revealed the varied seasonal associations between precipitation and ENSO events.

3. Study area and data

Costa Rica (area 50 700 km²) is bisected by four northwest-southeast trending cordilleras, which rise to over 3000 m. Two of them, Central and Talamanca, enclose an area of lower relief in the Central Valley (Fig. 1). The Instituto Meteorológico Nacional of Costa Rica (Ministerio de Recursos Naturales, Energia y Minas 1988) publishes monthly precipitation. Waylen et al. (1996) provide a full listing of the 105 stations

possessing at least 20 years of record. These tend to be concentrated in the populated Central Valley, although the rest of the country is represented by the selected stations, with the exception of the extreme northeast and south central areas. Statistically significant (0.05 level) linear trends in annual precipitation since 1955 are found in less than 10% of the stations, thereby implying at least weak statistical stationarity. The maximum available period of record is therefore employed at each station, rather than searching for a common period of record, in order to provide the largest temporal and spatial sample sizes.

4. Patterns of regional circulation

The most important climate controls of Costa Rica are the northeast trades (*alisios*), the seasonal shifts of the eastern Pacific ITCZ, the cold continental outbreaks (*nortes*), and the episodic influence of tropical cyclones in the Caribbean. The trades produce precipi-

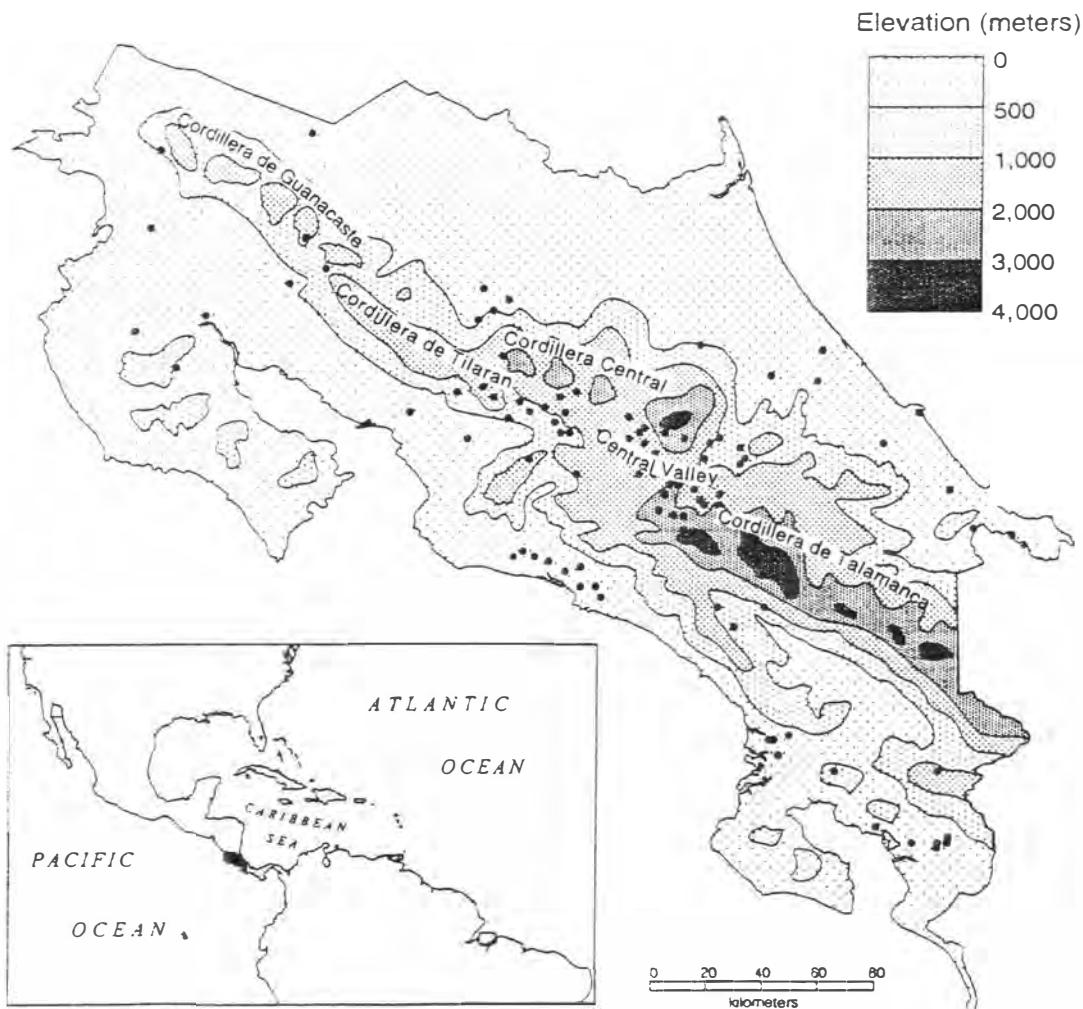


FIG. 1. Major physiographic features of Costa Rica and locations of stations used in the study.

tation along the Caribbean slope and rainshadow effects on the Pacific slope. They vary seasonally in intensity and direction (Hastenrath 1966, 1976; Hastenrath and Lamb 1977; Chacón and Fernández 1985), being most intense in boreal summer and least intense in winter, with a greater meridional component.

The mean position of the ITCZ in the eastern equatorial Pacific ranges from 3° to 10°N (Alpert 1945; Hastenrath and Lamb 1977). Its northward migration initiates the summer rainy season along the Pacific slope, coincident with convection inland (Chacón and Fernández 1985; Cavazos and Hastenrath 1990) and, possibly, periods of heavy precipitation, or *temporales* (Hastenrath 1988). This pattern is interrupted by a period of reduced precipitation, or *veranillos*, in July and August, corresponding to the intensification of the trades over the Caribbean. A second peak of precipitation in October is generally larger and of longer duration, and declines to a minimum in February or March.

Northerly winds, or *nortes*, moving down high meridional pressure gradients in boreal winter, warm and acquire moisture from the Gulf of Mexico and Caribbean Sea, causing short-lived periods of precipitation in winter (García et al. 1978; Cavazos and Hastenrath 1990). The orientation of the Caribbean coastline promotes stress-differential-induced convergence and locally heavy precipitation (Bryson and Kuhn 1961).

Although few North Atlantic tropical cyclones make landfall in Costa Rica (Neumann et al. 1988), Vargas and Trejos (1994) comment on the associated disruption of the northeasterly airflow, reversal of the pressure gradients across the isthmus and a corresponding enhancement of precipitation along the Pacific coast.

5. Regional associations with atmosphere-ocean variability

Mean precipitation for each month at all stations are entered into an average linkage clustering procedure (Wolter 1987). The five derived groupings and their regimes resemble those presented elsewhere (Portig 1965; Hastenrath 1967; Waylen et al. 1996) and are referred to as, the Caribbean, the Caribbean fringe, the Intermediate region, the Northwest, and the Southwest (Fig. 2). In order to fully identify the timing, duration, and spatial extent of the droughts noted by previous research, lagged cross-correlations between monthly precipitation and SOI are estimated. Waylen et al. (1996) showed little connection between SOI and annual precipitation in Costa Rica beyond a two-year lag, thus monthly observations were considered for lags of 24 months.

In general, strong positive associations between summer rainfall and SOI are apparent along the Pacific slope (Northwest and Southwest). Seasonally these effects are most marked during the *veranillos* and not as strong, or even absent, during September and October.

There are indications that wetter years follow those of drought in both Pacific regions, persisting even for two years in the Southwest. The Caribbean core region displays a more complex pattern of associations. July, August, and September evince the negative correlation suggested previously (Fernández and Ramírez 1991; Vargas and Trejos 1994), whereas the period of winter *nortes* reveals positive associations. The seasonal precipitation maxima of the Caribbean region are therefore correlated to SOI with opposing signs, and the rains in March and June may also be affected. Patterns of association in the Intermediate and Caribbean fringe resemble, to some degree, both those of the Pacific and Caribbean coasts, representing transitional stages between the two coastal extremes.

6. Discussion

The empirical findings of this research are interpreted in the context of Hastenrath's (1976, 1984) description of the deviations of ocean-atmosphere variables during "wet" and "dry" years throughout the Caribbean and Central America, which are themselves linked to values of the SOI (Waylen et al. 1996). In addition, Rasmusson and Carpenter's (1982) conception of a canonical ENSO event may be used to hypothesize a typical sequence of events in "year 0" and "year + 1" across the regions.

During such a typical sequence, patterns of monthly precipitation suggest a complex chain of interactions between oceans, atmosphere, and precipitation in the area of Costa Rica. Intensification of the trades at the initiation of a warm/cold ENSO sequence (Fernández and Ramírez 1991) increases summer precipitation (JAS) along the Caribbean coast in year 0. Cross-correlation of the North Atlantic Oscillation index (Azores-Iceland), which provides an indirect measure of the equatorward pressure gradient that drives the trades, and monthly precipitation in the Caribbean region reveals a dominantly positive correlation in the summer. This increase is contemporary with, and therefore possibly related to, the usual slight decrease in vertical atmospheric motions over the Caribbean detected by Hastenrath (1966). The intensified northeast trades may induce strong rainshadow effects on the Pacific slope and subdue the seasonal development of convection and sea breezes during the *veranillos* (Fernández and Ramírez 1991; Vargas and Trejos 1994). Stronger trades also produce local jets through gaps in the cordillera of Central America. These jets have been shown to promote marked "fronts," which possibly recurve toward the Pacific coast. Such cold oceanic eddies have been reported in the gulfs of Tehuantepec, Papagayo, and Panama (Clarke 1988; Legeckis 1988; McCreary et al. 1989; Umatani and Yamagata 1991). Cold waters of the Costa Rica Dome, located off the Nicoya peninsula, are associated with the northward deflection of the Northern Equatorial Countercurrent

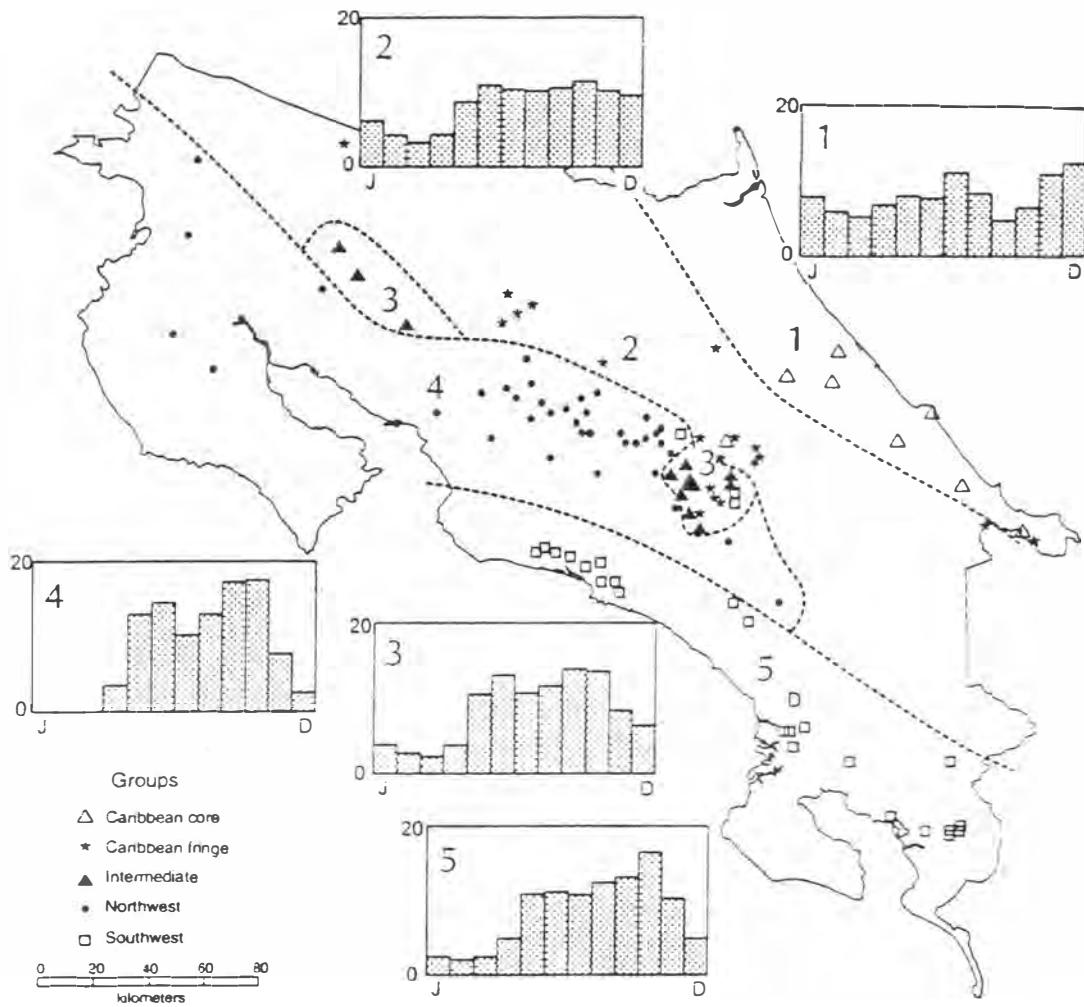


FIG. 2. Regionalization of precipitation stations based upon cluster analysis of monthly mean precipitation. Resultant regional regimes are shown inset for the period January to December on abscissa and percent of annual precipitation on ordinate.

and have been noted to cool and expand during El Niño events (Barberán et al. 1984).

Since the northern position of the ITCZ in the eastern Pacific depends partially on sea surface temperatures, the presence of cooler waters, resulting from either process, would greatly diminish summer precipitation, convection, and the generation of *temporales*, particularly in northwestern and mid-Pacific locations. This local effect may compound the general inhibition of the northward migration of the ITCZ during year 0. It is also interesting to note that some of the most coherent regional correlations on both the Pacific and Caribbean coasts occur during the *veranillos*, while the September precipitation remains reasonably unaffected regardless of location. The Southwestern region is statistically more sensitive, although physical evidence suggests that the Northwest is more drastically affected. This results from the former region receiving precipitation

throughout much of the year and therefore reflecting more clearly the modified progression of the ITCZ.

The patterns of anomalous ocean/atmosphere variables (Hastenrath 1976, 1984) indirectly support the hypothesis of a spatially restrained ITCZ. During July/August of a "dry" year the velocity of the westerlies over the Pacific west and south of Costa Rica are reduced, while the trade winds to the north remain stronger. In addition, although much of the eastern equatorial Pacific is beginning to show considerable increases in SST (2°C or more), warming in the general vicinities of the gulfs of Tehuantepec, Papagayo, and Panama remain moderate (less than 0.5°C). These observations, collected from shipboard data and aggregated into grid squares of 1° lat $\times 1^{\circ}$ long (Hastenrath and Lamb 1977), may possibly disguise localized effects. The data were further subjected to "quality control" (Hastenrath 1976, p. 203) to ex-

clude "values beyond physically reasonable limits." Clarke (1988) reports SST ranges of greater than 2°C over similar spatial dimensions in the Gulf of Papagayo.

Precipitation delivered to the Caribbean by *nortes* in the following November to January (year 0 to year +1) decreases as indicated by its positive correlation to SOI and negative correlation to NAO. *Nortes* result from seasonally high meridional pressure gradients between North America and the Caribbean, therefore one possible explanation for their reduction would be a decrease of that gradient. By January/February of a "wet" year, sea surface temperatures in the northern Caribbean and central Gulf of Mexico have increased and pressure has declined. Other authors (Horel and Wallace 1981; Wallace and Gutzler 1981) have suggested that air temperatures in northwestern United States and southwestern Canada increase in the same period. All these factors point to a decrease in the meridional pressure gradient and hence reduced *norte* generation.

By the boreal spring of year -1 indicators of anomalous meteorological conditions (outgoing longwave radiation, westerly winds, and sea surface temperatures) along the equator (Gill and Rasmusson 1983) had expanded as far east as 80°W during the exceptional El Niño of 1982–83. In the more common pattern of El Niño development, Pacific sea surface temperatures are at or below normal and this cooling becomes more extreme toward the eastern equatorial Pacific (Rasmusson and Carpenter 1982). These anomalously cool temperatures herald the beginning of the cold phase of ENSO (La Niña) and mark the inhibition of the southward shift of the ITCZ in the region. Locally, the trade winds appear to decrease in intensity over the Caribbean as SST increase. The extent of cold upwelling in the Pacific decreases, fostering the northward migration of the ITCZ and enhancing summer precipitation along the entire Pacific slope, while the slackened trades reduce precipitation during the period of the *veranillos* along the Caribbean. Hastenrath (1990) also reports intensification of the cross-equatorial westerlies at that time.

Although Hastenrath (1976) provides no anomaly data for the boreal winter at the end of his "wet" period (year +1 to year +2), the warmer sea surface temperatures and reduced trade winds present in the region during July/August foreshadow a strengthened winter meridional pressure gradient and increased precipitation from the *nortes* on the Caribbean, while permitting a more sustained ITCZ in the Pacific. Similarly, no anomaly data exist for summer of the preceding year (-1), during which cross-correlation data in the Caribbean Fringe and Caribbean regions suggest that these areas experience reduced trade winds with concomitant expansion of the ITCZ and convective activity (negative correlations) along the Pacific. A study of *nes* frequency over a ten-year period in the Domin-

ican Republic (García et al. 1978) showed that the fewest such frontal events occurred in the winter of 1964/65 (a major ENSO event) and the most in the following winter, further enhancing the findings of this research.

7. A canonical El Niño for precipitation in Costa Rica

It is possible to outline a canonical pattern of monthly precipitation within each region in association with a "typical" sequence of ocean-atmosphere conditions during a warm/cold ENSO event (Fig. 3), covering at least four years from year -1 to year +2 according to the standard nomenclature. Historic precipitation data were extracted from each station for the four years corresponding to each of the moderate and strong El Niño episodes of the twentieth century reported by Quinn et al. (1987). Each monthly observation is standardized according to the appropriate monthly mean and variance at that station. The standardized scores are then averaged over all stations within a region during an historic event and a standardized regional response to each El Niño recorded, similar to the method employed by Hastenrath (1976).

That each of the five regions represents a stage in the gradual transition from the east coast to the west coast across the isthmus makes the changes between neighboring regions very subtle. The absolute importance of these standardized deviations must also be calibrated by reference to the regional regimes (Fig. 2) and compared to the results of the cross-correlation analyses. The most marked difference is found in year 0, during which the Caribbean, Caribbean Fringe, and to a lesser extent, the Intermediate groups show a decrease in spring precipitation (MAM) but varying degrees of increased precipitation in summer and fall (JASO), followed by lower than average values in November and December. By contrast, the Northwest and Southwest regions show below average or average values for the entire year.

The foreshadowing of an onsetting ENSO episode in the precipitation of the preceding summer (JA) along the Caribbean, hinted at by the cross-correlations, is also borne out in this diagram by the sharp declines in those months during canonical year -1. During year +1 patterns become less distinct. There are indications that late winter/spring (JFMAM) precipitation increases along the Caribbean, while precipitation on the Pacific coast remains lower than normal. During the second half of the year (Jul-Dec), precipitation increases along the latter and decreases along the former. By the following year (+2) both rainfall maxima (Jun and Oct) are far above normal in the Southwest region, while precipitation is below average along the Caribbean coast.

In general, this canonical pattern is consistent with the results of the cross-correlation and the independent physical evidence. Patterns are not as clear as they

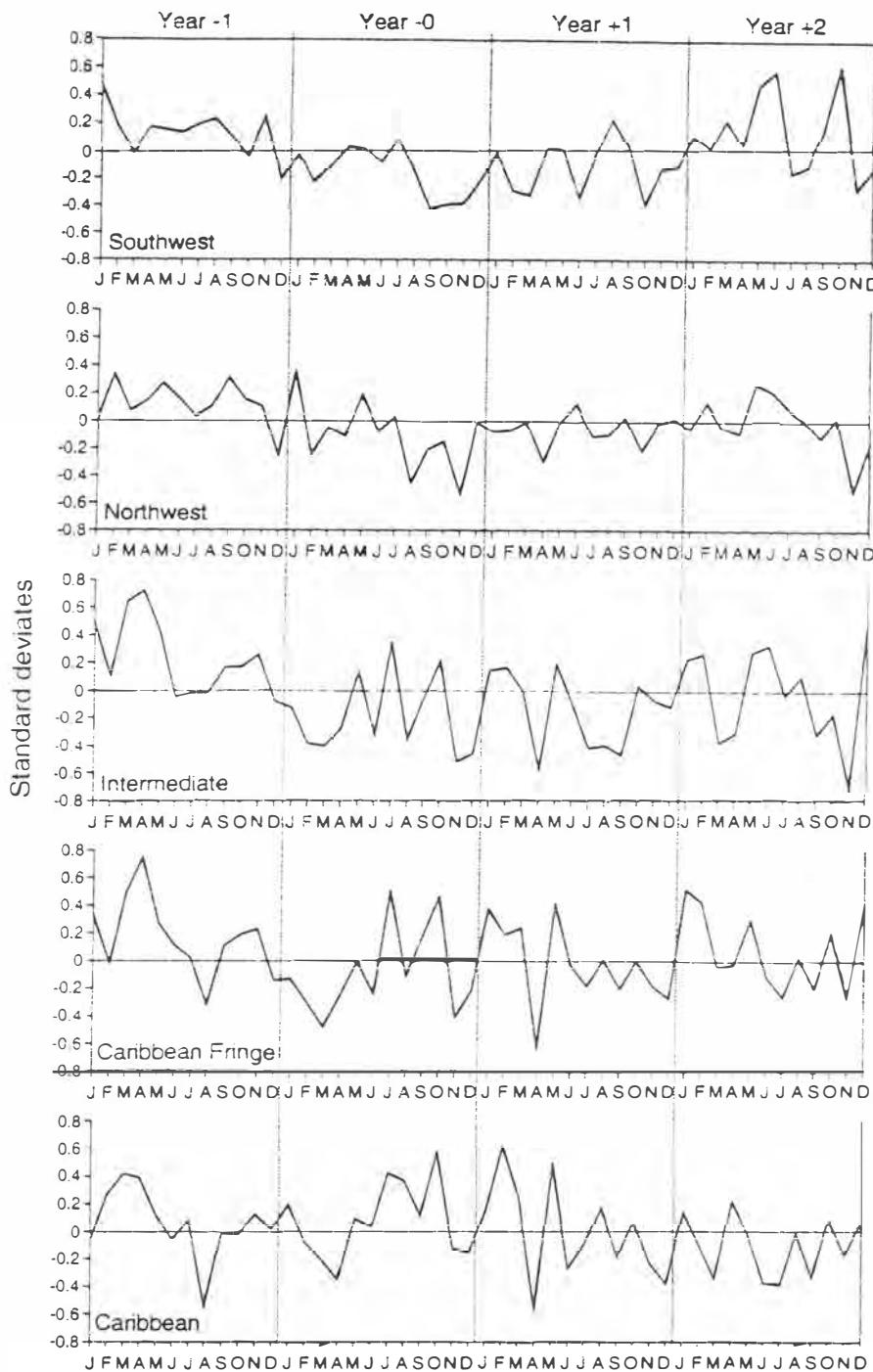


FIG. 3. Regional standard deviates of monthly precipitation during a sequence of four years representing a canonical El Niño in Costa Rica.

might be because of the selection of a particular ENSO classification; for instance, Rasmusson and Carpenter (1982) include the years 1963 and 1969 in their classification. Second, not all warm/cold periods are of the same duration, such as the extended 1939–41, 1982–83, and 1991–93 events, nor do they all run the full

four-year course before another cycle commences, as happened with the 1950–51 and 1952–53 events. No provision has been made here for these "exceptions," as the overall characteristic regional signals are similar to those identified by other techniques. However, such complications must have a considerable effect upon the

exact nature of this simple canonical pattern, based as it is on a maximum of 16 El Niño events within the range of available precipitation records.

8. Conclusions

This analysis of the precipitation regime, its variability and search for potential causal mechanisms, in Costa Rica can serve as a potential model for the greater realm of Central America. However, its validation has been restricted here to the empirical precipitation data and extant information concerning atmosphere-ocean circulation in adjacent areas. The statistical analyses and their subsequent interpretation assume that similar regimes and variations are indicative of similar precipitation-generating processes. This can only be supported by corroborative information from other research dealing with atmosphere-ocean circulation in the region. The analysis of regime differences and statistical associations have been stressed; however, there is a possibility that differing processes result in similar regimes, in which case the differences in processes would go undetected.

Variations of monthly precipitation in Costa Rica in association with stages in the warm/cold ENSO sequence appear to be more complex spatially and temporally than previously recognized. The regimes of the two coastal regions are out of phase with one another and reflect the changing seasonal dominance of various precipitation-generating mechanisms. Deviations of precipitation from the seasonal norm go in opposing directions on either side of the country, with the largest differences occurring between coastal locations. In the course of several years, the signs of these deviations fluctuate according to the intensity of the precipitation-generating mechanisms as noted by other studies of precipitation and ocean-atmosphere interactions in the region.

These peculiarities were not noted in previous studies because of the nature of the approaches adopted. Global and hemispherical studies such as Ropelewski and Halpert (1987) and Rogers (1988) used too coarse a geographic grid to be able to detect the scale of such variability, while the regional studies of Hastenrath (1976, 1984, 1988) obscured such local variability in a regional precipitation series. Portig (1965) and Chacón and Fernández (1985) point out the dangers of extrapolations and interpolations in such a physiographically diverse region. The annual precipitation series of Waylen et al. (1996) are aggregated over too large a time period to detect the opposing reactions of the two seasonal precipitation generating mechanisms that occur on the Caribbean slope. These studies, with the exception of Fernández and Ramírez (1991), have omitted the increased "summer" precipitation on the windward side of the divide, and only Cavazos and Hastenrath (1990) and Estoqué et al. (1985) briefly comment on the possible variations in precipitation

caused by the *nortes* in central Mexico and northwestern Panama, respectively.

Despite the finer geographic and temporal scale employed here and the relatively small study area, there is reason to assume that the conclusions have broader regional validity in Central America. Portig (1965) and Hastenrath (1967 and 1988) refer to the geographic range of the *nortes* along the Caribbean coast of Central America from Mexico's Gulf of Mexico coast to Portobelo, Panama, and García et al. (1978) point out their significance for the precipitation received on the northern coastline of the Greater Antilles. Since Portobelo lies only 20 km north of the Madden Reservoir, the *nortes* may have some influence upon the observed November discharge peak (Hastenrath 1990), which is not so clearly linked to the zonal flow as August's. Bimodal precipitation regimes occur throughout Central America, and this one may be similar in origin to that observed in southwest Costa Rica. If so, the cause of both peak flows in the Madden catchment would be the same climatological process (i.e., the seasonal migration of the ITCZ) and a similar response to atmosphere-ocean changes might be expected in both peaks, as happens along the Pacific coast of Costa Rica. The two streamflow peaks are separated by only 3 months, which, combined with the extremely large artificial storage capacity of the basin, might be assumed to induce an even stronger response in the second discharge peak if the changes in basin input were the same in both seasons. Instead, the earlier, smaller discharge peak in summer reveals the clearer association to SO. It has been argued by Hastenrath that correlation patterns are similar but weaker in November, and only results from the August analysis are reported in his study. It must be noted that basin outflow integrates precipitation inputs from a variety of latitudes and that the lack of clarity in the November signal may be indicative of a *mixture* of precipitation generating processes being responsible for the second maxima, in a similar way to the precipitation stations located in the Intermediate region of Costa Rica.

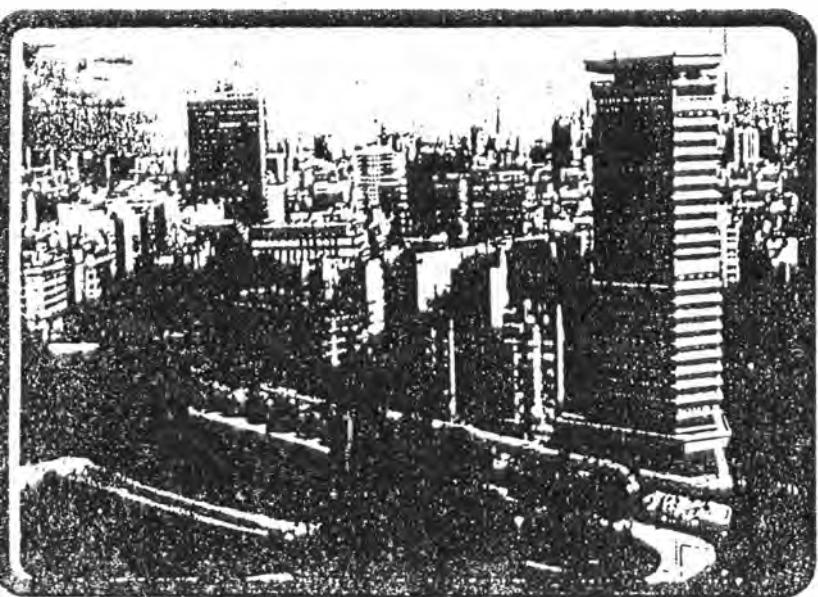
In sum, the assumed "consonant" response of all Central America to the influence of ENSO events is far from uniform, and the results presented in this work reveal increasingly the impact that seasonal circulations over the Atlantic and the North American continent has on the precipitation variations of the Central American continental bridge.

Acknowledgments. This research was carried out while the first author was a Hartley Visiting Fellow at the Department of Geography, University of Southampton, England. The financial support of the University's Committee for Advanced Studies and the logistic support of the Geography Department is gratefully acknowledged, particularly the contributions of Drs. D. Maddy and J. Milne. Funding was also provided by University of Florida Grant RDA 2-16 and

NOAA Grant NA46GPO216. Data were acquired by Marvin Quesada while on a Tinker Fellowship from the Center for Latin American Studies, University of Florida. The authors are grateful for the valuable comments of the reviewers on the original manuscript.

REFERENCES

- Aceituno, P., 1988: On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. *Mon. Wea. Rev.*, **116**, 505–524.
- Alpert, L., 1945: The inter-tropical convergence zone of the eastern Pacific region. I. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **26**, 426–432.
- Barberán, J., A. Gallegos, and A. R. Padilla, 1984: The Costa Rica Dome during the onset of the 1982–83 El Niño. *Trop. Atmos.–Ocean Newslett.*, **24**, 13–14.
- Bryson, R. A., and P. M. Kunn, 1961: Stress-differential induced divergence with application to littoral precipitation. *Erkunde*, **15**, 287–294.
- Cavazos, T., and S. L. Hastenrath, 1990: Convection and rainfall over Mexico and their modulation by the Southern Oscillation. *J. Climatol.*, **10**, 377–386.
- Chacón, R. E., and W. Fernández, 1985: Temporal and spatial rainfall variability in the mountainous region of the Reventazón river basin, Costa Rica. *J. Climatol.*, **5**, 175–188.
- Clarke, A. J., 1988: Inertial wind path and sea surface temperature patterns near the Gulf of Tehuantepec and Gulf of Papagayo. *J. Geophys. Res.*, **93**, 15 491–15 501.
- Estoque, M. A., J. Luque, M. Chandek-Monteza, and J. García, 1985: Effects of El Niño on Panama rainfall. *Geophys. Int.*, **24**, 355–381.
- Fernández, W., and P. Ramírez, 1991: El Niño. La Oscilación del Sur sus efectos en Costa Rica: Una revisión. *Technol. Marcha*, **11**, 3–11.
- García, O., L. Bosart, and G. DiMego, 1978: On the nature of winter season rainfall in the Dominican Republic. *Mon. Wea. Rev.*, **106**, 961–982.
- Gill, A. E., and E. M. Rasmusson, 1983: The 1982–1983 climate anomaly in the equatorial Pacific. *Nature*, **305**, 229–234.
- Hastenrath, S. L., 1966: On general circulation and energy budget in the area of the Central American seas. *J. Atmos. Sci.*, **23**, 694–711.
- , 1967: Rainfall distribution and regime in Central America. *Arch. Meteor. Geophys. Bioklimatol. Ser. B*, **15**, 201–241.
- , 1976: Variations in low latitude circulation and extreme climatic events in the tropical Americas. *J. Atmos. Sci.*, **33**, 202–215.
- , 1984: Interannual variability and annual cycle: Mechanisms of circulation and climate in the tropical Atlantic sector. *Mon. Wea. Rev.*, **112**, 1097–1107.
- , 1988: *Climate and Circulation of the Tropics*. Reidel.
- , 1990: Diagnostics and prediction of anomalous river discharge in northern South America. *J. Climate*, **3**, 1080–1096.
- , and P. J. Lamb, 1977: *Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans*. The University of Wisconsin Press, 109 pp.
- Hoerl, J. D., and J. M. Wallace, 1981: Planetary scale atmospheric phenomena associated with the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 813–829.
- Intergovernmental Panel on Climate Change, 1991: *Climate Change*. World Meteorological Organization, United Nations Environment Program, Cambridge University Press.
- Legeckis, R., 1988: Upwelling off the Gulfs of Panama and Papagayo in the tropical Pacific during March 1985. *J. Geophys. Res.*, **93**, 15 485–15 489.
- McCreary, J. P., H. S. Lee, and D. B. Enfield, 1989: The response of the coastal ocean to strong offshore winds: With application to circulations in the Gulfs of Tehuantepec and Papagayo. *J. Mar. Res.*, **47**, 81–109.
- Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas, 1988: *Instituto Meteorológico Nacional Año del Centenario 1888–1988: Catálogo de las Series de Precipitaciones Medidas en Costa Rica*. Government of Costa Rica, 361 pp.
- Neumann, C. J., B. R. Jarvinen, A. C. Pike, and J. D. Elms, 1988: *Tropical Cyclones of the North Atlantic Ocean, 1871–1986*. Historical Climatology Series 6-2. NOAA, 186 pp.
- Portig, W., 1965: Central American rainfall. *Geogr. Rev.*, **55**, 68–90.
- Quinn, W. H., V. T. Neal, and S. Antunez de Mayolo, 1987: El Niño occurrences over the past four and a half centuries. *J. Geophys. Res.*, **92**, 14 449–14 461.
- Rasmusson, E. M., and T. H. Carpenter, 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **110**, 354–384.
- Rogers, J. C., 1988: Precipitation variability over the Caribbean and tropical Americas associated with the Southern Oscillation. *J. Climate*, **1**, 172–182.
- Ropelewski, C. F., and M. S. Halpert, 1987: Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern Oscillation. *Mon. Wea. Rev.*, **115**, 1606–1626.
- Schneider, U., and C.-D. Schönwiese, 1989: Statistical characteristics of El Niño/Southern Oscillation and North Atlantic Oscillation indices. *Atmosfera*, **22**, 34–47.
- Umatani, S., and T. Yamagata, 1991: Response of the eastern tropical Pacific to meridional migration of the ITCZ: The generation of the Costa Rica Dome. *J. Phys. Oceanogr.*, **21**, 346–363.
- Vargas, A. B., and V. F. S. Trejos, 1994: Changes in the general circulation and its influences on precipitation trends in Central America: Costa Rica. *Ambio*, **23**, 87–90.
- Wallace, J. M., and D. S. Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, **109**, 784–812.
- Waylen, P. R., M. E. Quesada, and C. N. Caviedes, 1996: Variability of annual precipitation in Costa Rica, and the Southern Oscillation. *J. Climatol.*, **16**, 173–195.
- Wolter, K., 1987: The Southern Oscillation in surface circulation and climate over the tropical Atlantic, Eastern Pacific, and Indian Oceans as captured by cluster analysis. *J. Climate Appl. Meteor.*, **26**, 540–558.
- Zárate, E., 1978: Comportamiento del viento en Costa Rica. Nota de Investigación #2. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, San José, Costa Rica, 31 pp.



Características Estadísticas de al...

Ríos de Co...

Marvin E.

César N. Caicedo

Abstract

The runoff characteristics of the Cauca, Catatumbo, Fundación, Guayuruba, Magdalena and San Juan rivers, in Colombia, are analyzed with the purpose of establishing the linkages with major climatic anomalies over tropical South America such as El Niño and Anti-Niño episodes. Most of the rivers studied demonstrate low discharges (due to scant precipitation) during El Niño years revealing negative correlations of rainfall and runoff with the warming phases of the tropical Pacific. Inversely, during Anti-Niño years (cooler temperatures in the tropical Pacific) precipitation and high waters are more common across Colombia. In the exceptional cases of the Fundación and Guayuruba rivers the high runoff are independent from El Niño or Anti-Niño giving hints that heightened continental warming and increased convectional activity are the main controls during the so-called 'normal years'. The hydrology of Colombia reveals a marked disassociation with the high waters experimented by South American rivers south of the Equator, during severe El Niño episodes.

Resumen

Se analizan las características de las descargas en seis ríos de Colombia (Cauca, Catatumbo, Fundación, Guayuruba, Magdalena y San Juan), para ver sus relaciones con anomalías mayores de la circulación atmosférica sobre Sudamérica tropical, tales como El Niño y anti-Niño. La mayoría de los ríos analizados denotan bajos caudales (debido a bajas precipitaciones) durante los años con El Niño, lo que sugiere que tal fenómeno tiene características inversas para la pluviosidad y el escorrentamiento en gran parte de Colombia. Por el contrario, durante los episodios anti-Niño tienen lugar las precipitaciones más altas y las crecidas mayores. Este hecho sugiere que la

* Departamento de Geografía, University of Florida.



influencias del Caribe tienen mayor importancia para el régimen de lluvias y descargas que las influencias de un Océano Pacífico sobre calentado. Dos casos excepcionales son los ríos Fundación y Guayuruba, en los cuales las crecidas son independientes de episodios tanto anti-Niño como El Niño: el calentamiento continental y una excesiva actividad convectiva en años 'normales' parece ser la razón de los caudales más altos. En general, la hidrología de Colombia revela un desfase marcado con las crecidas que tienen lugar en la mayoría de los ríos de Sudamérica al Sur de la línea ecuatorial, durante los severos episodios de El Niño.

Introducción

La variedad ambiental de Colombia se presta muy bien para el estudio de variaciones hidrológicas asociadas a distintos tipos de condiciones fisiográficas y de estímulos meteorológicos. Se agrega a esto el hecho de que en el estudio de las descargas de ríos se ha llevado a cabo en estos últimos tiempos avances muy importantes en la manera de cómo se analizan estadísticamente los valores de descarga.

En este artículo se van a analizar las características estadísticas de las descargas de seis ríos que se consideran representativos de cinco regiones naturales de Colombia, y una vez establecidas sus características se van a expresar algunas hipótesis acerca de las razones de la existencia de algunas diferencias, no sólo desde el punto de vista de importantes variaciones regionales, sino de las fluctuaciones climáticas que han tenido lugar durante las últimas décadas en la circulación atmosférica tropical del continente sudamericano. No existe un gran número de investigaciones acerca del comportamiento de los ríos sudamericanos al Norte de la línea ecuatorial, y, por esta razón, se tienen informaciones fragmentadas acerca de las relaciones de estos ríos con las oscilaciones climáticas de tipo El Niño o Anti-Niño en el trópico sudamericano.

En una corta nota, Rehl (1984) postula que el río Cauca experimenta bajos caudales durante episodios de aguas cálidas en el Pacífico Oriental, y que existen crecidas durante años con altos valores de la Oscilación Meridional (episodios Anti-Niño), pero no avanza detalles explicativos. Waylen y Caviedes (1987) asocian las crecidas de los ríos del Norte del Perú a la existencia de episodios El Niño de gran intensidad, y los bajos caudales simultáneos en los ríos del Sur del Perú a bajas precipitaciones estivales durante esos mismos episodios. Este comportamiento ha sido estudiado en detalle por Tapley and Waylen (1989), quienes sostienen que las lluvias en estaciones montanas del Norte del Perú son muy altas durante períodos de El Niño, y que ellas decrecen cuando se avanza hacia el Sur y se penetra en la alta Sierra y en el Altiplano. Por último, Hastenrath (1990) ve en los ríos de las Guayaná y en ciertos ríos de Panamá y América Central una tendencia a mayores descargas durante los años con índices altos de la Oscilación Meridional, es decir, años con Anti-Niño.

Los estos antecedentes, se considera como crucial para el entendimiento de las influencias de los fenómenos El Niño y Anti-Niño tener un conocimiento más detallado

de los ríos de Colombia, ya que este país no sólo ofrece una fachada al Océano Pacífico y otra hacia el Mar Caribe, sino que se extiende también hacia las llanuras centrales y recibe muy claramente las influencias propias de la cordillera de los Andes. Pocos países en el continente ofrecen la posibilidad de estudiar las variadas respuestas de los ríos colombianos a los impulsos generados en la amplia faja del Pacífico tropical.

Los Ríos y sus Características Generales

Los ríos seleccionados para este estudio aparecen en la Tabla 1. El río Fundación, en la estación hidrográfica de Fundación, fue elegido como representativo de las condiciones hidrológicas dominantes en la fachada Caribe semiárida de la costa colombiana. El río Catatumbo, en Puente Barrera, fue seleccionado como característico de los Andes colombianos del Norte, y muy próximo a las influencias provenientes del Lago de Maracaibo. El río San Juan, en Peñitas, fue escogido como típico de las condicio-

Tabla 1
Ubicación y detalles acerca de los ríos de Colombia considerados en esta investigación

Río	Estación de Aforo	Latitud (°N)	Longitud (°W)	Años de Registros	Elevación (metros)
Fundación	Fundación	10.30	74.08	29	55
Catatumbo	Puente Barrera	09.01	72.14	18	45
Magdalena	Puerto Berrio	06.30	74.23	51	108
San Juan	Peñitas	04.13	77.13	18	7
Guayuruba	Puente Barrera	04.05	73.46	18	520
Cauca	Juanchito	03.27	76.28	53	945

nes imperantes en la vertiente Pacífica del país. El río Guayuruba, en Puente Carretera, ha sido incluido en este estudio como característico de las condiciones hidrológicas imperante en los llanos Occidentales. Finalmente, los ríos Magdalena, en Puerto Berrio, y Cauca en Juanchito, fueron incorporados en este estudio como representativos de los Andes centrales de Colombia (Figura 1).

Los datos de caudales existentes para cada uno de estos ríos son de distinta duración temporal, un detalle que no es de suma importancia cuando se estudian algunas características hidrográficas, las cuales no requieren el tratamiento de los datos simultáneamente, o cuando se estudian las características de ciertos valores extremos, como se hará en esta ocasión. Estos datos fueron puestos amablemente a nuestra disposi-

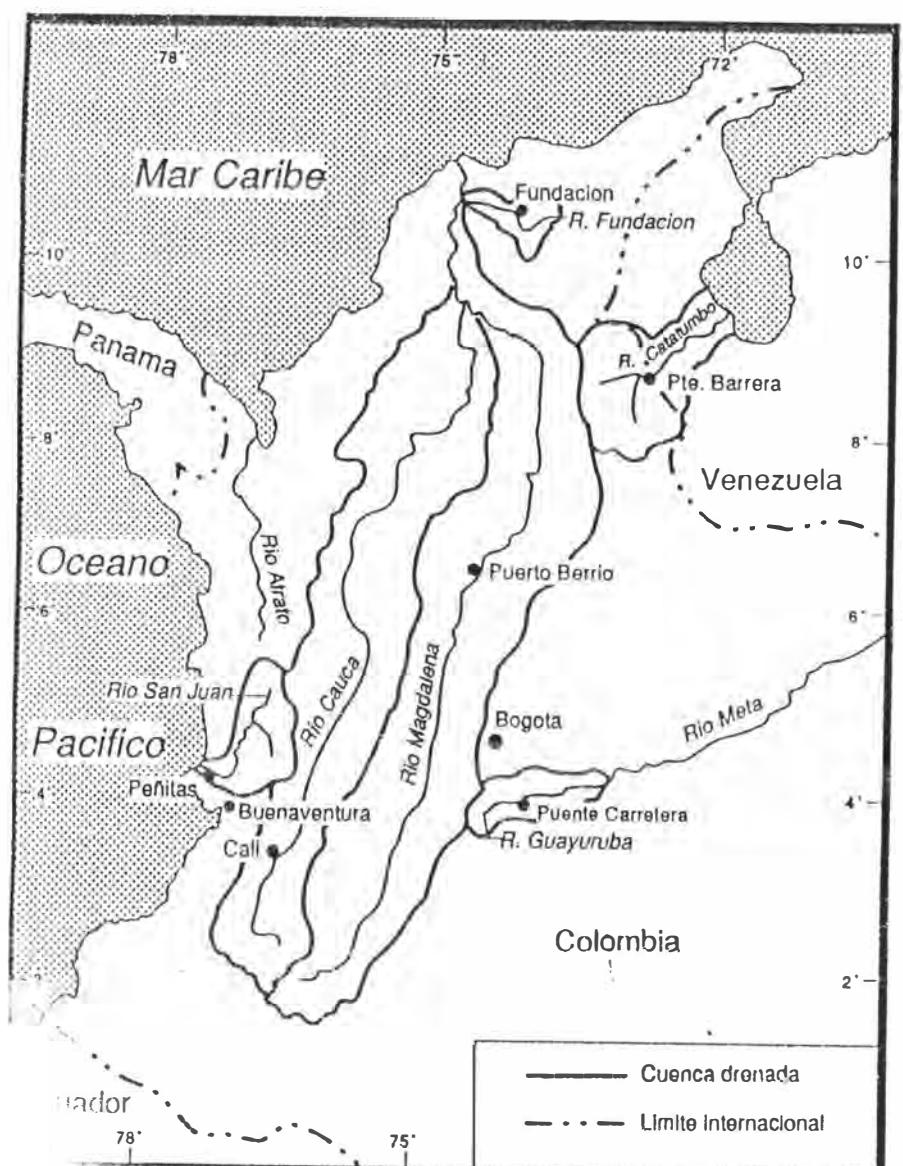


Figura 1. Cuencas de los ríos estudiados.

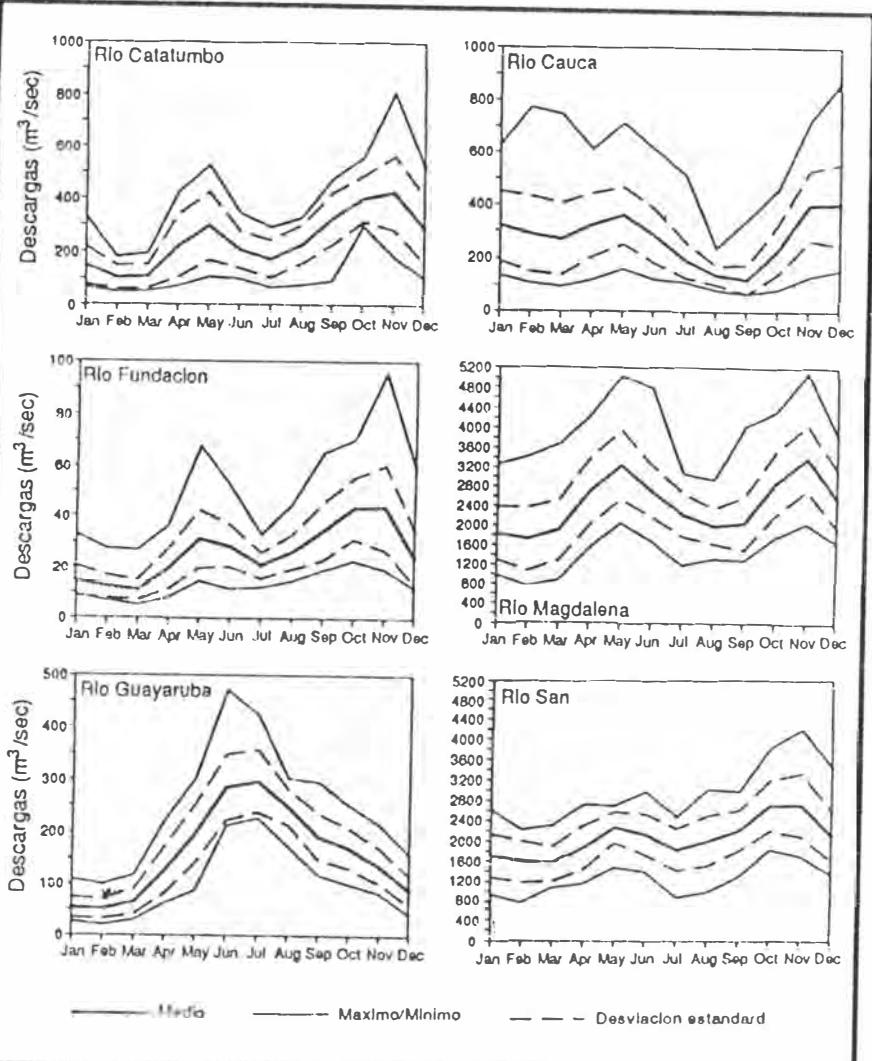
ción por las autoridades del Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, a los cuales expresamos aquí nuestra más sincera gratitud.

Los tipos regímenes

Los ríos de la vertiente caribeña, Catatumbo y Fundación, exhiben un régimen que responde muy bien al doble ritmo de las precipitaciones que tienen lugar en el Norte de Colombia. Detalles acerca de la distribución anual de precipitaciones en el país se encuentran en el artículo de J.A. Eslavar, V. López, y G. Olaya (1986). El estiaje de estos ríos se da durante los meses del tardío invierno (febrero y marzo) cuando el sol culmina en las regiones tropicales del continente al Sur de la línea ecuatorial (Figuras 2a y 2b). Inversamente, una primera máxima aparece en el mes de mayo debido a las primeras lluvias cenitales, cuando el sol se dirige hacia la línea del trópico septentrional. Despues de un descenso bien marcado en los meses de junio y julio las aguas comienzan a subir progresivamente para culminar en los meses de octubre y noviembre que demuestran no sólo las descargas máximas más altas, sino también los promedios más altos de todo el año. Se puede notar, asimismo, que las desviaciones estándar de mayor valor se registran en el mes de octubre, lo que significa que hay variaciones de descargas de gran diferencia durante este mes. Las variaciones más bruscas son aquellas del río Catatumbo, que puede experimentar hasta $300 \text{ m}^3/\text{segundo}$ de variación comparada con los $400 \text{ m}^3/\text{segundo}$ de promedio mensual, es decir, 75% de la descarga mensual, mientras que en el río Fundación las variaciones estándar son solamente de 43% ($18 \text{ m}^3/\text{segundo}$ comparadas con el promedio de $42 \text{ m}^3/\text{segundo}$ en el mes de noviembre). En otras palabras, las variaciones interanuales más acentuadas son casi cercanas al promedio en el río Catatumbo, el cual puede crecer muy brutalmente; en cambio, en el Fundación las variaciones interanuales son más moderadas.

El río Magdalena también muestra las dos máximas observadas en los ríos del Norte, pero las diferencias entre ellas no son tan acentuadas. Además, se nota que la máxima mayor tiene lugar un poco más tarde que en los ríos de la vertiente caribeña (noviembre y diciembre), revelando que los aportes de las lluvias en el interior de la cuenca hidrográfica de este río tienden a demorarse un poco más en pasar por la estación de registro en Puerto Berrio. También debido a los aportes de numerosos tributarios a lo largo de la extensa cuenca de drenaje, el río Magdalena revela una gran uniformidad de descarga expresada por variaciones estándar que a lo máximo llegan a ser de 15% de las descargas medias de octubre y noviembre (Figura 2c).

El río Cauca, en Juanchito, revela un régimen que se desvía de los patrones anteriores (Figura 2d). Si bien se notan dos máximas, que también tienen lugar en octubre y noviembre/diciembre, la baja de caudales que se experimenta en los meses del invierno astronómico (junio a septiembre) es mucho más pronunciada que en los otros ríos. Más todavía, es evidente que las aguas bajas del invierno astronómico no aparecen



Descargas medias, máximas, mínimas y desviaciones estándares de las medias, para los ríos Catatumbo (a), Fundación (b), Guayaruba (c), Cauca (d), Magdalena (e) y San Juan (f).

enero y febrero, y los bajos caudales del mes de marzo apenas insinúan un descenso en las descargas primaverales que culminarán en mayo. Las variaciones interanuales expresadas por las variaciones estándar también revelan una mayor uniformidad en este río, ya que cuentan con 37% de los valores medios en noviembre y diciembre.

El río San Juan, típico de la costa colombiana del Pacífico, también ofrece dos máximas de altas descargas; una más baja en el mes de mayo y una menor en los meses de octubre y noviembre (Figura 2f). La distinción con los anteriores reside, sin embargo, en el hecho que durante los meses del verano astronómico (junio a septiembre) la baja de caudales no es tan acentuada como en los ríos previamente descritos. Incluso el periodo de más bajas descargas, de enero a marzo, tampoco es tan fuerte como en los otros casos. Aun cuando los valores de descargas más altos aparecen en el mes de noviembre —en consonancia con el segundo periodo de precipitaciones en los Andes colombianos—, las variaciones estándar de ese mes son menores de 20% con respecto a las descargas medias, expresando una nueva regularidad en los caudales. Esto se puede comprobar, además, si se observa que las variaciones estándar de los meses restantes son muy similares a lo largo del año.

El río Guayaruba, ejemplo de los Llanos, ofrece un régimen muy diferente de los anteriores (Figura 2c). Existe sólo un periodo de bajas descargas y también uno solo de altos volúmenes. Las bajas se dan durante los meses de invierno, enero a marzo, y desde entonces el caudal comienza a aumentar progresivamente para culminar con descargas máximas en los meses de junio y julio, coincidiendo con las lluvias estivales. Aún durante los meses de verano las desviaciones estándar no llegan a pasar de 17% de los valores medios de junio y julio sugiriendo que las variaciones interanuales no son de gran magnitud.

Variaciones Temporales de las Descargas

Una vez que se ha determinado las características comunes de estos ríos, se puede plantear la pregunta de si estos ríos muestran variaciones notables en las series de años disponibles para cada uno de ellos. Esto tiene como finalidad establecer si los años con bajos o altos caudales son comunes a todos ellos, o si se notan variaciones significativas entre los años en que hay bajos caudales en algunos ríos y altas descargas en otros. Naturalmente, si se observan diferencias, la razón de éstas debería buscarse en los controles climáticos que actúan de manera diferente para cada una de las regiones típicas estudiadas.

En este tipo de estudios se requiere investigar la cuestión de si los años de condiciones extremas (sean ellas descargas máximas o mínimas) corresponden a años de la circulación tropical de carácter *El Niño* (es decir, con temperaturas muy altas y con lluvias torrenciales en el Pacífico tropical), o de *Anti-Niños* (temperaturas del mar anormalmente bajas y sequía extendida a lo largo de la costa del continente), o si se trata de años intermedios entre estas dos situaciones. Para facilitar el análisis estadístico se califican como *años anormales*.

La metodología escogida para este tipo de estudios consiste en dividir la serie de años en tres poblaciones estadísticas, una con "años normales", otra con "años El Niño", y una tercera con "años anti-El Niño" (Waylen y Caviedes, 1987). Para cada una de las poblaciones se calcula: a) el caudal medio anual, b) el caudal máximo absoluto, c) el caudal mínimo absoluto, y se computa el valor medio, la desviación estándar y el coeficiente de variación (Tabla 2). Una vez que se han obtenido estos valores, se puede aplicar la prueba de hipótesis si los valores medios, máximos, o mínimos son iguales en las tres poblaciones, lo que significa que no existen diferencias de caudales bajo las tres condiciones de circulación, o sí son diferentes, lo cual implica que existen diferencias significativas de caudales bajo cada una de esas tres condiciones. La prueba de hipótesis utiliza el "test t" para determinar diferencias entre dos valores medios conocidos, pero con varianzas desconocidas. Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

$$1) \quad t = \frac{(x_1 - x_2) - D_o}{\sqrt{S_p^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}}$$

La varianza compuesta de las dos poblaciones se obtiene con las fórmulas siguientes:

$$2) \quad S_p^2 = \frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}$$

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

x_1 = promedio de la primera población

x_2 = promedio de la segunda población

D_o = valor hipotético de la diferencia

S_p = varianza compuesta de las dos poblaciones

el nivel de confiabilidad es de 95 por ciento.

En Catatumbo. En este río se ve con claridad que las descargas menores se han dado durante años con el fenómeno de El Niño en el Océano Pacífico y que las descargas y níminas son también más bajas comparadas con las de los años como "normales" y como "anti-Niños". Esto significa que los controles climáticos que regulan el flujo de este río son independientes de las alteraciones climáticas producidas por el fenómeno de El Niño sobre la vertiente Pacífico.

Tabla 2
Estimaciones estadísticas de caudales anuales de acuerdo con las diferentes
condiciones oceanográfico-atmósfericas

Río	Normal			El Niño			Anti-El Niño		
	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.	Mín.	Med.	Máx.
Fundación	6.0	27.3	342.9	5.9	24.3	215.5	6.8	25.8	265.5
	D.E.: 6.0 Coef. Var: 0.21			D.E.: 4.2 Coef. Var: 0.17			D.E.: 2.3 Coef. Var: 0.08		
Catatumbo	43.2	240.1	1,386.4	8.1	34.2	223.7	15.2	19.7	263.3
	D.E.: 47.6 Coef. Var: 0.19			D.E.: 34.2 Coef. Var: 0.15			D.E.: 19.7 Coef. Var: 0.07		
Magdalena	1,911.0	2,334.4	4,767.7	1,839.1	2,211.0	4,943.0	1,097.4	2,666.5	5,950.0
	D.E.: 284.9 Coef. Var: 0.12			D.E.: 287.4 Coef. Var: 0.13			D.E.: 393.4 Coef. Var: 0.15		
San Juan	714.0	2,053.0	4,174.4	556.2	1,997.0	4,197.7	700.8	2,225.5	4,529.8
	D.E.: 276.8 Coef. Var: 0.13			D.E.: 309.2 Coef. Var: 0.15			D.E.: 186.1 Coef. Var: 0.08		
Guayuruba	5.1	15.3	459.8	31.6	162.4	1,244.2	35.7	155.2	1,484.6
	D.E.: 15.3 Coef. Var: 0.09			D.E.: 15.7 Coef. Var: 0.09			D.E.: 23.4 Coef. Var: 0.15		
Cauca	71.2	267.6	738.8	64.9	235.9	773.4	100.2	328.8	876.0
	D.E.: 42.2 Coef. Var: 0.16			D.E.: 54.5 Coef. Var: 0.23			D.E.: 73.9 Coef. Var: 0.22		

Inversamente, las descargas medias anuales, así como también las máximas y mínimas del año alcanzan sus valores más altos durante los años "anti-Niño", hecho que obliga a considerar con mayor acuciosidad las condiciones de la circulación atmosférica que rigen durante estos años que son definitivamente más lluviosos. Incluso las descargas mínimas anuales de estos años son las más altas de todas las series de años considerados. En lo que se refiere a los años "normales", ellos contienen una heterogénea mezcla de valores, algunos tan altos que parecen ser semejantes a períodos con "anti-Niños", tales como los del año 1981 (320 m³/seg como valor promedio y 1422 m³/seg como valor máximo anual) y otros tan bajos que los hacen semejantes a años con el fenómeno El Niño, como ocurrió en 1980 (172 m³/seg promedio anual y 1035 m³/seg como mínimo anual). Esto demuestra que este grupo de años contiene una población muy mezclada, con condiciones de circulación que a veces asemejan períodos "anti-Niños" y otras que parecen corresponder con episodios El Niño.

En estas circunstancias, es válido someter las tres poblaciones al "test t" para establecer si, en realidad, las variaciones de los valores medios son estadísticamente significativas. La Tabla 3 presenta los valores *t* calculados para los pares de años correspondientes, y los valores críticos para un test con dos "colas" con un grado de confiabilidad de 95%. "Dos colas" significa que hay límites críticos en las regiones a la extrema izquierda (2.5% negativo) y extrema derecha (2.5% positivo) del valor 0 (Figura 3). Este valor 0 significa que los valores medios comparados son exactamente iguales. Sólo cuando un valor *t* calculado sobrepasa los valores críticos tabulados, se acepta la hipótesis de que los valores medios comparados son estadísticamente diferentes. En el caso del río Catatumbo las únicas poblaciones con valores medios diferentes son aquellos grupos de años El Niño comparados con los años anti-Niño, como

Tabla 3
Valores *t* calculados y tabulados para el test de hipótesis

Río	Normal vs Niño		Normal vs Anti-niño		Niño vs Anti-niño	
	<i>t</i> cal.	<i>t</i> tab.	<i>t</i> cal.	<i>t</i> tab.	<i>t</i> cal.	<i>t</i> tab.
Fundación	1.25	2.09	0.67	2.09	-0.94	2.13
Catatumbo	0.59	2.18	-1.58	2.20	-2.90	2.20
Magdalena	1.21	2.04	-2.87	2.04	-3.39	2.05
San Juan	0.35	2.20	-1.20	2.23	-1.44	2.26
Guayuruba	0.03	2.20	0.67	2.23	0.62	2.26
Cauca	1.87	2.03	-3.29	2.12	-3.66	2.05

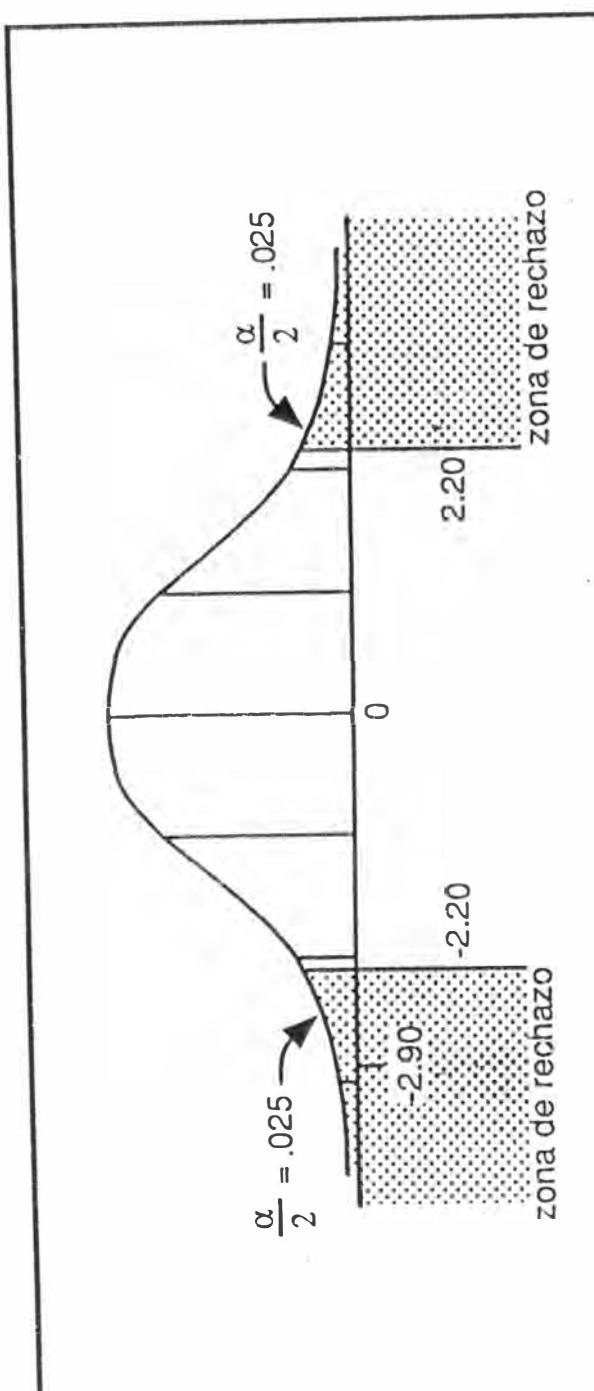


Figura 3. Ubicación de las zonas de rechazo en un test *t* de doble cola. El 0 corresponde al valor medio, asumiendo una distribución normal (estandarizada). El valor -2.90 indica que en el río Catatumbo las descargas durante años con El Niño y con Anti-Niños no son significativamente similares (véase tercera columna de Tabla 3).

se puede apreciar visualmente en los valores promedios presentados en la Tabla 2. En cambio, no hay diferencias significativas entre años con El Niño y años "normales", ni tampoco entre los años anti-Niño y años "normales". Una de las razones de esta falta de diferencias reside en el hecho —ya explicado— de que los llamados años "normales" consisten de una mezcla muy heterogénea de años.

El Cauca también demuestra variaciones significativas de caudal entre años con El Niño y años "anti-Niño", y en un grado algo menor, entre los años "normales" y "anti-Niño". La razón reside en que los años "anti-Niño" son extremadamente lluviosos, hecho que eleva no únicamente los valores medios anuales, sino también la dimensión de las máximas y mínimas anuales. En cambio, parece ser que el fenómeno El Niño no tiene ninguna incidencia sobre lluvias altas, sino más bien bajas, las cuales no se diferencian mucho de las lluvias durante los años indicados como "normales".

El río Magdalena ofrece un caso interesante en cuanto los años "anti-Niño" aparecen como los más diferentes debido a sus caudales anuales más altos y mayores variaciones estándar. No quiere decir que éstos no son solamente los años con mayores volúmenes de agua sino también aquellos con variaciones de caudales más violentas. De manera inversa, las descargas entre años El Niño y "normales" no ofrecen diferencias estadísticas, y lo único que se puede observar es que durante años con El Niño el río Magdalena exhibe caudales más bajos, como sucede en casi todos los ríos del país. Sin embargo, las desviaciones estándar entre estos dos grupos de años son tan similares que revelan variaciones no muy bruscas, como aquellas experimentadas durante años con anti-Niño.

De los ríos restantes, el Guayuruba, el Fundación y el San Juan no demuestran variaciones estadísticamente significativas entre los diversos años. Así, aun cuando en el Guayuruba hay descargas menores durante los años "anti-Niño" que parecen indicar que llueve menos en la vertiente de la Cordillera Oriental abierta hacia los Llanos, estas variaciones no pueden ser consideradas como estadísticamente representativas. Lo mismo ocurre en el río Fundación, para el cual se habría esperado caudales más altos durante los años "anti-Niño" debido a que la boca de este río, abierta hacia el Caribe, revela altas precipitaciones durante estos años. De hecho, los caudales más altos tienen lugar durante los años "normales" y los más bajos —como se supone— son aquellos afectados por el fenómeno El Niño.

Uno de los casos más paradójicos lo constituye el río San Juan, ubicado sobre la vertiente del Pacífico, que está ciertamente influenciada por el calentamiento oceánico. Se debería esperar que las descargas más altas tuviesen lugar durante años en circunstancias de que ocurra todo lo contrario: los más altos caudales durante los años "anti-Niño" y los más bajos durante El Niño. Incluso "normales" se parecen más a años con El Niño debido a los caudales regulares. En otras palabras, en el río San Juan se destaca el hecho de que cuando hay extrema humedad en la cuenca del Caribe tienen lugar las descargas más altas, y no cuando el Pacífico experimenta mayor evaporación y precipitaciones debido al calentamiento

oceánico. Así, se nota que los efectos del fenómeno El Niño sobre la meteorología regional no penetran mucho hacia el Norte a lo largo de la costa Pacífico como para afectar la cuenca del río San Juan (ubicada entre los 4° y 5°N) de que, además, las serranías del Chocó parecen no reaccionar con altas lluvias durante los episodios El Niño, sino que —contrariamente— hay mayor sequedad durante estos episodios.

Implicaciones de la Circulación Atmosférica sobre Colombia

El estudio de los caudales en algunos ríos típicos de Colombia pone de relieve ciertas características importantes de circulaciones atmosféricas alteradas durante años normales y "anormales". Se ve que varios de estos ríos tienen caudales más altos durante los años con características "anti-Niño", es decir, aguas cálidas generalizadas en el mar Caribe, extremada evaporación sobre este mar, abundantes huracanes y copiosas precipitaciones provenientes de la cuenca caribe en casi toda Colombia. De esta manera, los ríos Catatumbo, Cauca, y San Juan revelan grandes crecidas bajo estas condiciones de la atmósfera. Sólo el río Guayuruba y el Fundación no responden a este patrón y revelan caudales más altos durante años con condiciones llamadas "normales". Esto significaría que otros controles climáticos diferentes de El Niño o de "anti-Niño" son responsables de las copiosas lluvias y de sus correspondientes altos caudales. Tal vez bajo condiciones de circulación no alteradas por ninguna de las dos situaciones extremas —El Niño y anti-Niño— lluvias convectivas fuertemente intensificadas por el calentamiento continental dan origen a altos valores de descargas. En los otros años, por el contrario, masas de aire más seco y estabilizadas tenderían a crear condiciones de escurrimiento más débiles.

El hecho establecido de que en todos los ríos aquí estudiados, incluso el San Juan, los años con el fenómeno El Niño corresponden a las descargas más bajas de las tres poblaciones, lo cual tiene grandes implicaciones para la circulación atmosférica sobre Colombia. Parece ser que durante estos años hay un gran dominio de vientos desecantes y masas de aire estabilizado (seco) que avanzan sobre el territorio colombiano desde el Mar Caribe. Este mar es menos caliente que lo normal y experimenta menos huracanes que puedan depositar humedad extra sobre Colombia. En correspondencia con esto hay menos precipitaciones durante los años con El Niño, aun cuando tenga lugar una gran evaporación y enormes precipitaciones sobre la superficie recalentada del Océano Pacífico tropical.

Por otra parte, debe comprenderse que el fenómeno de El Niño alcanza su intensidad durante el verano del hemisferio Sur, diciembre a marzo, que es precisamente la estación en la cual casi todos los ríos colombianos experimentan los caudales más bajos del año, por lo cual la acción de El Niño tiende a diluirse. Una primera culminación de lluvias y caudales tienen lugar en la primavera del hemisferio Norte (abril a junio), el fenómeno El Niño sobre el Pacífico Oriental se encuentra en proceso de decadencia, y cuando ocurre la segunda máxima de caudales duran-

el otoño astronómico (que es el más alto de todo el año) los ecos de El Niño se han disipado grandemente.

Este estudio sugiere que debe hacerse una investigación todavía más detallada de la circulación atmosférica sobre Colombia durante los años llamados "anti-Niño", para determinar la intensidad de la influencia del Mar Caribe sobre los mecanismos de lluvias y caudales sobre gran parte del territorio colombiano. De igual manera, se propone examinar en forma acuciosa la intensidad de los fenómenos convectivos que tienen lugar en ausencia de condiciones ya sea El Niño o anti-Niño, porque en varias estaciones se da el caso de que en "años normales" tienen lugar no solamente las lluvias más copiosas sino también los caudales más altos. En general, se observa una *disociación* de los mecanismos de pluviosidad y descarga en Colombia con los episodios El Niño que son de tanta significación para América del Sur bajo la línea equatorial. Contrariamente, los episodios "anti-Niño", a los cuales se ha dado relativamente escasa importancia hasta ahora, se destacan como los más significativos en el aumento de las lluvias y los caudales en Colombia.

Bibliografía

- Eslavar, J. A., López, V. A. y G. Olaya, "Contribución al conocimiento de régimen térmico y pluviométrico de Colombia", *Colombia Geográfica*, 12:12, pp. 53-118, 1986.
- Hastenrath, S., "Diagnosis and prediction of anomalous river discharge in northern South America", *Journal of Climate*, 3:10, pp. 1080-1096, 1990.
- Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, *Evaluación de evaporación potencial en Colombia*, HIMAT, Bogotá, 1976.
- Riehl, H., "El Niño north of the Equator in South America", *Tropical Ocean-Atmosphere Newsletter*, 27, pp. 6-7, 1984.
- Tapley, T. y P. R. Waylen, A mixture model of annual precipitation in Perú, *The Professional Geographer*, 41, pp. 62-71, 1989.
- Waylen P. y C. Caviedes, "El Niño and annual floods on the northern Peruvian littoral", *Journal of Hydrology*, 89, pp. 141-156, 1987.

ESTABILIDAD EN LAS CRECIDAS DE LOS RÍOS DE DOS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE COSTA RICA

MSc. Marvin Quesada Q
Universidad de Costa Rica
Sede de Occidente
Coordinación de Investigación
San Ramón, Alajuela
América Central

Dr. Peter Waylen
Department of Geography
University of Florida
Gainesville, Florida
USA. 32611-7315

Resumen: Con el apoyo de modelos de distribución de probabilidades se ilustra la variación de las crecidas que se registran en dos cuencas hidrográficas de Costa Rica. Una cuenca se ubica en la Vertiente Pacífica y la otra en la Caribe. La Cuenca del Río Candelaria muestra una reducción de sus caudales durante los años de aguas oceánicas calientes y especialmente durante el periodo de pos-veranillo. Mientras que una condición opuesta sucede durante los años de aguas oceánicas frías. En la Cuenca del Río Sarapiquí no se nota tal reducción durante años de aguas oceánicas calientes, aunque en los años de aguas frías parece existir una mayor probabilidad de incremento en los caudales máximos en el mes de diciembre, periodo en que se da una mayor influencia de los frentes fríos provenientes de Norteamérica.

Abstract: With the help of distribution of probabilities models the variation of high floods is illustrated for two hydrographic basins in Costa Rica, one in the Pacific slope and the other on the Caribbean slope. The basin of Candelaria river shows a reduction of its flows during the years of warm oceanic waters and especially during the post-“veranillo” period, while the opposite condition occurs during the years of cold oceanic waters. In the basin of Sarapiquí river it is not noticeable such reduction during the warm oceanic waters, while during the years of cold waters it seems it exists a major probability of an increase in highest floods during the month of December, a period during which a larger influence of the cold fronts coming from North America is expected.

PALABRAS CLAVES: Costa Rica, cuencas hidrográficas, ríos, crecidas, El Niño-Oscilación del Sur.

Introducción

Las condiciones hidrometeorológicas en Costa Rica son muy variadas, tanto estacional como espacialmente (Waylen y otros, 1996). Existe una gran influencia de controles de circulación hemisféricos y locales que van desde cinturones de presión global hasta brisas de mar y vientos de valles. Esta variabilidad en las precipitaciones influye directamente en el régimen de caudales en las cuencas hidrográficas del país, lo cual también depende del espacio geográfico y del periodo del año. Indudablemente, la variabilidad topográfica y las condiciones temporales de un medio tropical influenciado por diversas condiciones oceánicas-atmosféricas, condicionan un

medio espacial con características muy variadas.

El llegar a conocer el comportamiento espacial y temporal de los caudales en una cuenca hidrográfica es de gran importancia para la economía del país. Estas son unidades espaciales donde existen una serie de recursos y actividades como generación hidroeléctrica, producción agrícola y pecuaria, turismo, pesca, e incluso asentamientos humanos, otros seres vivos y una serie de recursos de gran valor. La posibilidad de estimar las crecidas máximas en un país como Costa Rica es de considerable necesidad, desde el punto de vista hidrológico e hidráulico. Esto permitiría la construcción y ubicación de viviendas, áreas agrícolas, industrias,

puentes y embalses, entre otros, en sectores fuera del riesgo de las inundaciones.

No obstante, cuando no se tiene el debido conocimiento y control de las avenidas máximas se producen situaciones que podrían llegar a ser catastróficas. Uno de muchos ejemplos son las pérdidas de millones de dólares en la producción bananera en los sectores de Limón y Sarapiquí como consecuencia de fuertes crecidas del Río Sarapiquí (La República, 1997). En sectores aledaños al Río Candelaria, como es el caso de la zona de Los Santos se han producido también millonarias pérdidas en infraestructura (puentes, carreteras, alcantarillas), así como en la producción agrícola, viviendas, automóviles e incluso la pérdida de vidas humanas (La Nación, 1996).

La alta tasa de deforestación que presentan varias cuencas hidrográficas del país, sobre todo en su parte superior y media y las escasas técnicas de conservación de suelos para contrarrestar la escorrentía superficial durante los períodos húmedos en sectores con fuertes pendientes, conduce a fuertes crecidas en ciertos lapsos del año. Esta situación se repite año con año en diversos sectores del país. A pesar de ello, en Costa Rica todavía no se han diseñado alternativas viables para monitorear ríos con ese tipo de condiciones que permitan prevenir catástrofes.

Áreas de estudio y datos sobre caudales

En vistas de la variación interanual y espacial de las condiciones hidrometeorológicas en Costa Rica, se ha considerado pertinente tomar en cuenta para este estudio dos cuencas hidrográficas representativas del país, una en cada vertiente. La Cuenca del Río Candelaria, ubicado en la Vertiente del Pacífico y la Cuenca del Río Sarapiquí, localizado en la Vertiente del Caribe (Figura 1). Ambas constituyen dos espacios geográficos que hasta el momento no han sido utilizados en una investigación sobre crecidas máximas. Así mismo, son pocos los estudios que han considerado estudiar cuencas hidrográficas y la posible influencia de patrones globales de circulación, en especial el de ENOS (El Niño-Oscilación del Sur).

En el cuadro 1 se muestran algunas características de las áreas en estudio. En las cuencas no hay represas o estructuras hidráulicas que alteren el flujo normal de los caudales. Los datos de los aforos de caudales fueron recolectados por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE). Las dos cuencas hidrográficas se ubican a una longitud muy parecida, una en cada vertiente. Los datos son muy confiables y poseen registros muy extensos, superiores a veinte años para obtener confiabilidad estadística para hacer un análisis sobre la probabilidad de crecidas máximas en estos ríos y los períodos de su ocurrencia.

Cuadro No. 1.
Ubicación y detalles de las Cuencas de los ríos Candelaria y Sarapiquí

Datos	Candelaria	Sarapiquí
Estación de aforos	El Rey	Puerto Viejo
Área (Km ²)	661.4	820.9
Latitud norte	9°40'00"	10°28'00"
Longitud oeste	84°16'00"	84°00'00"
Años de registro	29	24
Altitud (m)	175	75

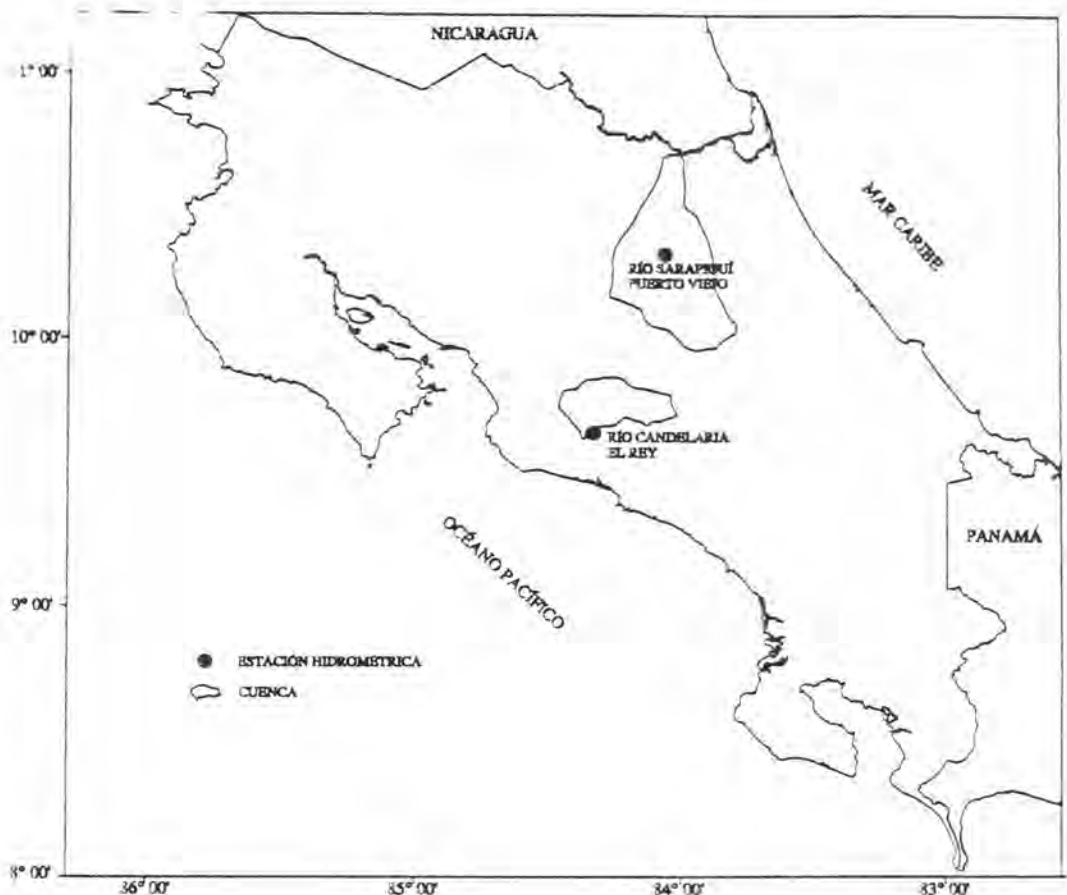


Figura 1: Localización de las cuencas hidrográficas en estudio

La cuenca del Río Sarapiquí se localiza en el sector Central-Norte de la Vertiente del Caribe, siendo uno de los principales afluentes del río San Juan. Mientras que la Cuenca del Río Candelaria se ubica en el sector Centro-Sur de la Vertiente Pacífica. Para el análisis de las descargas diarias para ambas cuencas solo se tomaron en cuenta los años y meses completos de la serie de registro hidrológico.

El propósito de esta investigación es establecer, en un ámbito espacial, la probabilidad en la variación de los picos máximos y las crecidas estacionales en ambas cuencas así como establecer la relación con las aguas frías y calientes del Océano Pacífico ecuatorial.

Patrones de circulación global generadores de las crecidas

Costa Rica, por ubicarse en América Central, mantiene una condición ístmica que permite la influencia de patrones de circulación atmosférico global. De igual forma, la diversidad topográfica, caracterizada por una cadena montañosa que cruza el país de noroeste a suroeste, permiten comparar entre dos regímenes de precipitación distintos, con la consiguiente variabilidad en los caudales de las cuencas de los ríos.

Las condiciones del relieve y la serie de patrones de circulación global que convergen en Costa Rica son determinantes en la variabilidad climática existente, la

cual es compleja, tanto espacial como temporalmente.

Dentro de los patrones de circulación a gran escala se incluyen el Anticiclón del Atlántico Norte, dado que su desplazamiento es determinante en la presencia de precipitaciones sobre la vertiente Caribe. Los Vientos Alisios provenientes del Noreste se forman precisamente en ese sector y soplan sobre el país la mayor parte del año (Fernández y Ramírez, 1991). La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) que cambia estacionalmente e influye especialmente sobre la Vertiente Pacífica, cuando su desplazamiento es hacia el norte, cerca de los 10° de Latitud Norte. Mientras que los Vientos del Suroeste que soplan durante parte del año sobre la Vertiente Pacífica de Costa Rica (Hastenrath, 1988) son los que provocan las precipitaciones sobre la vertiente Pacífica. La penetración de frentes fríos, llamados Los Nortes provenientes de Norteamérica, afectan durante unos meses del año a Costa Rica e influyen en algunas ocasiones con altas precipitaciones sobre las cuencas de la vertiente Caribe (Schultz y otros, 1998). Las tormentas tropicales y huracanes que provienen del Mar Caribe y que afectan diversos zonas del país (Gray, 1984) provocan lluvias excesivas y crecidas máximas en ciertos sectores del país. El Niño-Oscilación del Sur, ENOS (El Niño y La Niña), provenientes del Océano Pacífico ecuatorial, causan disturbios en el comportamiento de las precipitaciones y los caudales de los ríos en diferente magnitud dependiendo de la región del país (Waylen y otros, 1996).

Todos estos factores operan en diferente grado, influyendo sobre el régimen de caudales en forma desigual, tanto temporal como regionalmente. Existen algunas

indicaciones de que años secos son seguidos de años lluviosos, en especial en la Vertiente Pacífico del país. Mientras que en la Vertiente Caribe, no es tan claro, el patrón climático es aún más complejo (Fernández y Ramírez, 1991).

Esta marcada tendencia de las fases cálidas y frías de (El Niño, La Niña) o ENOS (El Niño-Oscilación del Sur), a seguir la segunda a la primera fue señalada por Philander (1989), pero en el caso de Costa Rica aún no se ha estudiado exhaustivamente. Unido a ello, esta relación no se manifiesta periódicamente, más bien una de las tareas más difíciles ha sido clasificar los años de aguas oceánicas calientes y fríos. Para este caso se ha utilizado la clasificación de Caviedes y Waylen (1991) y se ha usado una distribución de probabilidad para modelar el régimen de caudales.

A pequeña escala existen procesos que generan precipitaciones como son las brisas de montaña a valle y viceversa, así como del mar a la montaña y viceversa. Estos factores dependen totalmente de la topografía del lugar y de otros elementos como el viento y la radiación solar.

Métodos de análisis de las crecidas

Para determinar la probabilidad de crecidas en ambas cuencas se han empleado modelos hidrológicos con el fin de conocer la confiabilidad estadística del registro de datos de caudales diarios. Se pretende así, determinar los máximos picos anuales y las crecidas máximas.

Las crecidas máximas anuales (picos máximos) son definidas como las más altas descargas diarias observadas durante un año. Para determinar la posibilidad de estas crecidas se ha empleado un modelo propuesto por Hosking y otros (19

Distribución de Valor Generalizado de es una distribución de probabilidad acumulada que se muestra así:

$$F(X \leq x) = \exp[-1 - \kappa(x - \xi)/\alpha]^{1/\kappa}, \quad \kappa \neq 0$$

$$F(X \leq x) = \exp[-\{-(x - \xi)/\alpha\}], \quad \kappa = 0 \quad (1)$$

Estos picos máximos pueden ser estimados por el método de los momentos que reduce los errores cuando se emplean muestras pequeñas. Este mide la probabilidad de que una descarga fluvial pueda ser excedida (probabilidad de excedencia). Es evidente que mientras más altos los valores de las crecidas anuales, menores son las posibilidades de que esos valores sean excedidos. Mediante una prueba de hipótesis estadística, usando una z calculada se puede estimar la diferencia entre las crecidas anuales (Hosking y otros, 1985).

$$z = \kappa \sqrt{(n / 0.5633)} \quad (2)$$

Por otra parte, las crecidas estacionales son los períodos durante los cuales se excede el nivel de caudal normal.

El número de crecidas máximas estacionales (t) en el año ($m(t)$) puede ser determinada por medio de la Distribución Poisson, que se describe de la siguiente forma:

$$P(k) = \frac{\exp(-\Lambda) \Lambda^k}{k} \quad (3)$$

Hay que tomar en cuenta también que el número de crecidas está controlado por la estacionalidad. Ambos son descritos por su magnitud y tiempo. Aunque en las crecidas estacionales se considera además la frecuencia de los eventos, que son determinadas por medio de una distribución normal. Al ser t el número promedio de crecidas máximas por año, esta puede ser estimada como la suma de dos procesos generadores de las crecidas (L_1 Y L_2 , a saber pre y pos-

veranillo, o Alisios y Nortes) en cada cuenca hidrográfica.

Para describir la distribución de las probabilidades de excedencia de las crecidas estacionales por encima de un cierto valor (Q_0) debido a dos procesos diferentes, se puede utilizar la siguiente representación:

$$F(t) = \rho_1 [N_1(\mu_1, \sigma_1)] + \rho_2 [N_2(\mu_2, \sigma_2)] \quad (4)$$

La Distribución Probabilidad Normal se usa para describir los períodos máximos de crecidas en cada una de las dos estaciones: N_1 y N_2 .

Hay que considerar que el número de crecidas está controlado por los períodos estacionales. Estos dependen de la influencia de los patrones globales de circulación atmosférica. De ello también depende la frecuencia de las crecidas, que se tratan de estimar por medio de una distribución normal. Los promedios y las variancias en esta ecuación varían de acuerdo con el periodo de crecida y los ríos que son estudiados.

Resultados de la variación de las crecidas máximas

Las técnicas estadísticas señaladas anteriormente son utilizadas para estimar los picos máximos y las crecidas periódicas de las cuencas de los ríos Candelaria y Sarapiquí, basándose en los registros hidrológicos diarios recolectados por el personal del Instituto Costarricense de Electricidad.

Crecidas máximas anuales

En la Cuenca del Río Candelaria hay una mayor probabilidad de ocurrencia de crecidas máximas anuales durante años fríos (La Niña) hay probabilidad de que se

manifiesten hasta tres picos máximos al año, mientras que durante los años de aguas calientes los caudales son más bajos y a su vez más constantes de un año a otro, lo que indica la poca posibilidad de obtener picos máximos en estos años.

Por medio de la aplicación del VEG (sugerido por el Consejo de Investigación de los Estados Unidos), se encontró que ambas cuencas producen picos máximos, aunque es claro que en la Cuenca del Río Sarapiquí se manifiesten caudales superiores a lo largo del año, dada su ubicación en la Vertiente Caribe. En general, existe una reducida asociación entre el ENOS y las características de los picos máximos en la Vertiente Caribe, mientras que en la Vertiente Pacífica sucede lo contrario (Figura 2).

Crecidas máximas estacionales

Al analizar las crecidas máximas estacionales, el patrón de caudales se vuelve más complejo. Por ejemplo en la Cuenca del Río Candelaria se producen variaciones extremas que divergen de los caudales promedio. Estas se producen especialmente poco después de darse las máximas de precipitación pluvial. Como es de esperar existe un corto periodo de retraso entre el instante en que se producen las precipitaciones y el momento de las descargas de los ríos, especialmente al inicio de la estación lluviosa. Durante la época seca los suelos tienen un déficit hídrico y con las primeras lluvias (mayo y junio) apenas empiezan a recargarse, de ahí que el escurreimiento sea menor y se produzca una mayor infiltración. No obstante, durante los meses que van desde agosto a mediados de noviembre, son aún mayores las precipitaciones y por supuesto

los suelos están totalmente saturados de agua.

En la Cuenca del Río Cañdelaria se pueden identificar dos periodos estacionales a través del año hidrológico. En la Cuenca del Río Sarapiquí pese a existir un periodo continuo de lluvias a través del año, se manifiestan también dos periodos estacionales de caudales (Figura N°2).

En la Cuenca del Río Candelaria el periodo lluvioso se interrumpe por una recesión de lluvias (Veranillo de San Juan). De ahí que existan dos periodos de caudales máximos, un periodo de pre-veranillo y otro de pos-veranillo. El primer periodo va de mayo hasta mediados de julio y el segundo se extiende desde agosto hasta mediados de noviembre, el cual se caracteriza por presentar valores superiores al promedio normal de los caudales que se dan normalmente al año. Los picos máximos se dan en octubre que es cuando, aparte de que los suelos ya están saturados de agua, la ubicación de la ZCIT produce grandes cantidades de precipitación sobre esta cuenca.

En la Cuenca del Río Sarapiquí, pese a que los caudales son elevados la mayor parte del año, se presentan dos periodos en que las crecidas son altas. Una en agosto que se relaciona con una mayor intensidad de los vientos Alisios y la otra en diciembre y enero. En ciertos años también en febrero, marzo y abril, que coincide con la penetración de frentes fríos (Los Nortes) provenientes de Norteamérica. Por otro lado, en el mes de octubre se da una ligera recesión de las lluvias. Asimismo, en ciertos años, cuando no hay influencia de los frentes fríos tardíos en febrero, marzo y abril se produce también una merma relativa de los caudales.

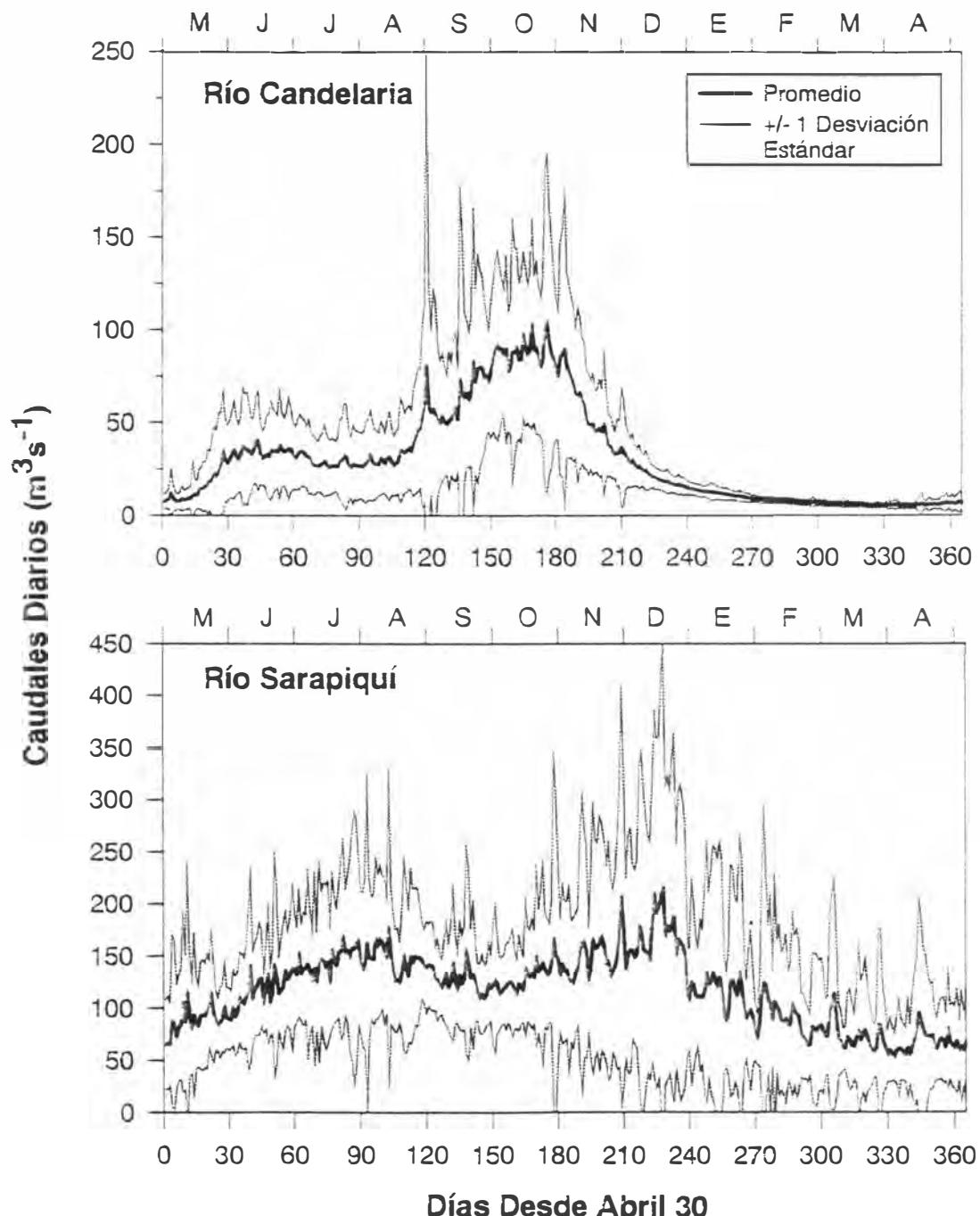


Figura 2: Distribución de los caudales diarios en ambas cuencas hidrográficas.

La Distribución de Probabilidad de Poisson (cuadro No. 2) indica que en la Cuenca del Río Candelaria el número de crecidas en los años fríos es el doble durante los períodos pos-veranillo, mientras que durante los años calientes la frecuencia de las crecidas se reduce en forma considerable, especialmente durante los pos-veranillos.

El número de crecidas máximas en la Cuenca del Río Sarapiquí (cuadro No. 3)

durante los años fríos se mantiene parecido a los años normales. Aunque existe la probabilidad de encontrar crecidas altas en los meses de diciembre y enero. Durante los años con aguas oceánicas calientes, el número de crecidas aumenta, especialmente durante los meses de julio y agosto. Más tarde en los meses de febrero, marzo y abril existe también la posibilidad de tener crecidas máximas.

Cuadro N° 3

Promedio del Número de Crecidas Máximas por Clase de Año en la Cuenca del Río Candelaria (1)

CLASE	AÑOS	CRECIDAS ANUALES	CRECIDAS EN PRE-VERANILLOS	CRECIDAS EN POS-VERANILLOS
TODOS	29	2.103	0.241	1.862
FRIOS	6	3.667	0.667	3.000
CALIENTES	7	1.286	0.286	1.000
OTROS	16	1.875	0.063	1.813

(1) Distribución de Probabilidad Poisson

Cuadro N° 4

Promedio del Número de Crecidas Máximas por Clase de Año en la Cuenca del Río Sarapiquí (1)

CLASE	AÑO	CRECIDAS ANUALES	CRECIDAS DURANTE ALISIOS	CRECIDAS DURANTE NORTES
TODOS	24	2.458	0.458	2.000
FRIOS	4	2.500	0.000	2.500
CALIENTES	6	3.250	1.250	2.000
OTROS	14	2.539	0.461	2.078

Distribución de Probabilidad Poisson

En términos de los períodos de las crecidas máximas anuales, al utilizar el Modelo Poisson se puede discernir que ambas cuencas tienen una marcada estacionalidad, la cual se muestra en la figura 3. En la Cuenca del Río Candelaria la probabilidad de períodos de crecidas altas durante los años de aguas oceánicas calientes en promedio es más baja, mientras que durante años de aguas oceánicas frías, dicha probabilidad en promedio es superior.

En la Cuenca del Río Sarapiquí, la probabilidad de tener períodos de crecidas altas en años de aguas calientes oceánicas en promedio es mayor durante los meses de fuerte influencia de los vientos Alisios del Noreste y durante los tardíos frentes fríos. En cambio durante los años de aguas oceánicas frías, en promedio existe una mayor probabilidad de altas crecidas en diciembre con la penetración de intensos

que producen mayores precipitaciones que elevan el nivel de los caudales.

Discusión y conclusiones sobre las crecidas máximas

Las condiciones hidrometeorológicas de Costa Rica son muy complejas, dada la ubicación del país y la serie de patrones atmosféricos que persisten durante todo el año, los cuales provienen del Pacífico, del Caribe y de la parte continental de Norteamérica. Asimismo, la variabilidad anual de las condiciones oceánico-atmosféricas en el Océano Pacífico ecuatorial, son determinantes en la variación de las crecidas máximas en las cuencas de los ríos Candelaria y Sarapiquí.

Durante los años de aguas oceánicas calientes los vientos Alisios adquieren más intensidad y persistencia sobre la Vertiente Caribe. Esto ocasiona que se extienda el periodo del veranillo de San Juan y los niveles de caudal del Río Candelaria se reduzcan. De igual forma se manifiesta una reducción en los frentes fríos tempraneros de diciembre (Nortes), lo que también produce una reducción en los caudales del Río Sarapiquí durante los meses de julio y agosto.

Mientras tanto, todo lo contrario parece ocurrir durante los años de aguas oceánicas frías donde hay un incremento de los caudales en la Cuenca del Río Candelaria, especialmente en el periodo de pos-veranillo, al no haber mucha influencia de los vientos del noreste sobre la Vertiente Caribe y al aumentar la posibilidad de las tormentas tropicales y huracanes provenientes del Mar Caribe (Gray, 1984). Estos pueden afectar esta cuenca indirectamente sobre todo en los meses de agosto, setiembre y octubre, lo que hace que se produzca un efecto de aceleramiento de los vientos provenientes del suroeste y se registren lluvias más intensas sobre la Vertiente Pacífica. Asimismo, existe una fuerte tendencia de los frentes fríos de diciembre, a aumentar el nivel de los caudales en la Cuenca del Río Sarapiquí.

Agradecimientos

Esta investigación fue posible gracias a la colaboración del personal del Departamento de Hidrología del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), quienes nos suministraron los registros de aforos para ambas cuencas, Así como a la ayuda de mis amigos Ing. Carlos Perera H., y al M.Sc. Alberto Hámer Salazar R; quienes asistieron en la impresión de cuadros y figuras.

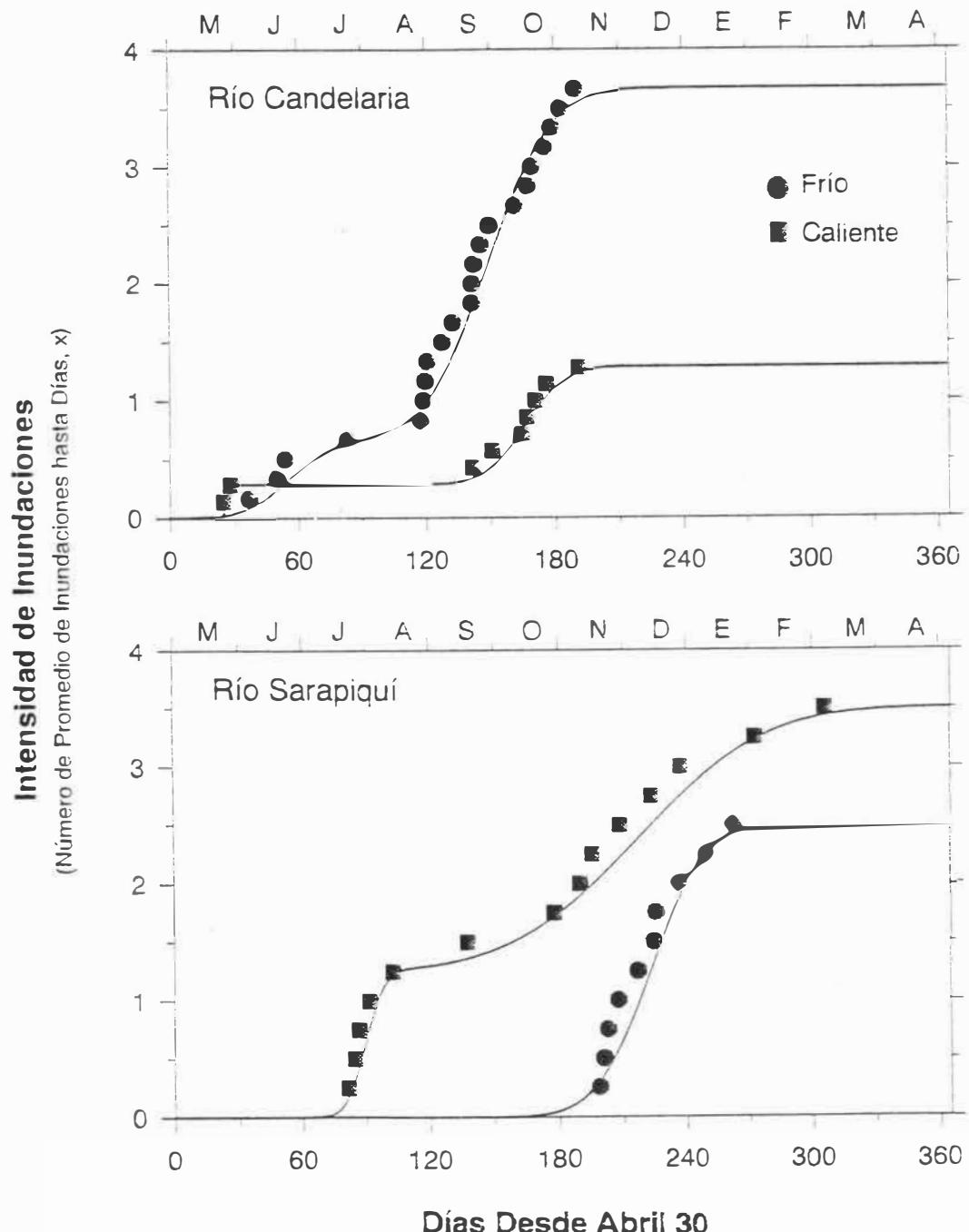


Figura 3: Intensidad de los caudales en ambas cuencas en los períodos fríos y calientes del ENOS

Referencias

- Caviedes, C., and P.R. Waylen, 1991. Chapters for a climatic history of South America, W. Endlicher and H. Gossman, editors, Beitrage Zur Regionalen und Angewandten Rlimatologie, *Freiburger Geographische Hefte*, vol. 32. Pp.149-180.
- Fernández, W, y P. Ramírez, 1991. El Niño, la Oscilación del Sur y sus efectos sobre Costa Rica: Una revisión. *Tecnología en Marcha*, 11, p. 3-11.
- Gray, 1984. Atlantic seasonal hurricane frequency . Part II: Forecasting its variability. *Monthly Weather Review*, 112, p. 168-183.
- Hastenrath, S.L. 1988. Climate and Circulation on the Tropics. *Reidel*, Dordrecht.
- Hosking, J.R.M., J.R. Wallis and E.F. Wood, 1985. Estimation of the parameters of the generalized extreme value distribution by the method of probability weighted moments. *Technometrics*, 27, p.251-261.
- La Nación . 1996. Delor y Muerte. Lunes 29 de Julio. Pag. 1.
- La República.1997. Banano Asesta Golpe Social y Ecológico. Lunes 29 de setiembre. Pag.4.
- Philander, S. G., 1989. El Niño y La Niña, and the Southern Oscillation, *Academic Press*, New York, 291 p.
- Schultz, D , W.E. Bracken and L. F. Bosart. 1998. Planetary an Synoptic scale signatures associated with Central American cold surges. *Monthly Weather Review*, 126, p. 5-27.
- Waylen, P.R., M.E. Quesada and C.N. Caviedes, 1996. Temporal and Spatial Variability of Annual Precipitation in Costa Rica and the Southern Oscillation, *International Journal of Climatology*, 16, p. 173-193.

