

2009

Memoria Técnica

“Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola en las Provincias de Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha, El Oro, Guayas, Los Ríos y Santa Elena”



*Organización de las Naciones Unidas
para la Agricultura y la Alimentación*

*Centro Internacional para la
Investigación del Fenómeno de El Niño*



CIIFEN

CONTENIDO

	Página	
1	Introducción	3
2	Objetivos	5
3	Alcance del estudio	5
4	Ubicación del área de estudio	8
5	Metodología	9
6	Información climática	15
7	Tendencias de índices de cambio climático	17
8	Radios de influencia de tendencias climáticas	27
9	Identificación de zonas agrícolas	34
10	Siniestralidad	38
11	Índice de pobreza por necesidades básicas insatisfechas	42
12	Estimación del riesgo climático en zonas agrícolas	44
13	Priorización de zonas agrícolas	48
14	Conclusiones	50
15	Recomendaciones	52
7	Referencias bibliográficas	53

1. INTRODUCCIÓN

Las evidencias de cambio climático derivadas de los análisis de precipitación y temperaturas sugieren como un área crítica a los Andes Tropicales (IPCC-AR4, 2007). En este contexto, el sector agrícola en el Ecuador tiene diferencias sustanciales en las estructuras productivas entre la región costa y la sierra. En ambos casos, el sector está sometido a diversas presiones de múltiple naturaleza, sin embargo el cambio climático podría tener una repercusión de mayor magnitud en la región andina del país y su actividad agrícola (PACC-MAE, 2009). La degradación de los suelos, la alteración de los servicios ecosistémicos por la deforestación, fragmentación de hábitats, cambio de uso de suelo, urbanización y contaminación se suman al incremento de la temperatura en altura con el consiguiente impacto en la expansión de la frontera agrícola (Veen, 1999) y con ella, la aparición de especies invasivas desde y hacia las tierras cultivadas. El incremento de la temperatura modula ciclos de aparición de plagas y enfermedades desfasados con los ciclos fenológicos de los cultivos, especialmente en los Andes (Garrett 2008). En su conjunto todos estos factores, disminuyen la resiliencia de los cultivos, su sostenibilidad, y consecuentemente ponen en riesgo la seguridad alimentaria en sectores sociales tradicionalmente caracterizados por la alta tasa de desnutrición infantil, alta mortalidad infantil y pobreza extrema (CEPAL, 2004). De igual manera la ocurrencia de eventos extremos más frecuentes e intensos como heladas, vientos, olas de calor y precipitaciones, se ha convertido en uno de los elementos más persistentes para impedir el desarrollo y perpetuar ciclos de pobreza, indigencia y hambre de generación en generación (Martínez, 2005).

Actualmente, a nivel global la ciencia del clima continúa avanzando en la simulación de escenarios que han sido la base para la ciencia del cambio climático compilada en el cuarto último reporte del IPCC del 2007. Sin embargo en este mismo informe se reconocen las limitaciones de estas proyecciones, en la medida que la escala espacial disminuye. Esto implica que a mayor resolución espacial, la incertidumbre existente sobre el clima futuro se amplifica. Cuando se trata de acometer un problema a escala nacional o subnacional, utilizar los modelos globales para simulación de escenarios, plantea más dudas que seguridad. Por otro lado y cómo se lo ha analizado en múltiples foros, especialmente de los sectores del desarrollo, mientras el clima evoluciona con una alta tasa de incertidumbre, el territorio también lo hace como resultado de una interacción de ambiente y comunidad (Chaux, 2004) donde las variables son múltiples y de compleja dinámica y evolución.

Sin embargo y pese a las limitaciones, los Gobiernos y en general los tomadores de decisiones públicos o privados, demandan por respuestas que orienten sus actividades o planificación ante la creciente incertidumbre sobre lo que el cambio climático y sus efectos conexos pueden hacer. Estas respuestas no pueden ser atendidas por la ciencia global cuando se trata de áreas subnacionales. En el caso del Ecuador, de acuerdo a los reportes del PACC en el 2009, los escenarios de modelos climáticos muestran en los procesos de validación, más consistencia para la región costa y poca o ninguna consistencia en la zona andina. A esto se le suma un problema muy particular en el caso de Ecuador, las dificultades para acceder a datos de buena calidad sobre uso de suelo, estadísticas socio-económicas de desastres e información agrícola.

El proveer una aproximación a las tendencias de cambio climático en el país y su potencial influencia en el sector agrícola, es un reto a la innovación ya que de momento no hay una metodología formalmente reconocida ni aceptada para ello. Se trata entonces de combinar toda la experiencia compilada en la estimación de la vulnerabilidad de un sector del desarrollo con visión antropocéntrica y analizar las tendencias climáticas basadas en los datos más reales y confiables posibles que se ajusten a la geografía andina y provean respuestas que permitan generar una línea base de estimación y a la vez identificar los vacíos de información o análisis necesarios para robustecer la aproximación metodológica.

En este sentido, como resultado de años de experiencia trabajando con riesgo climático (CIIFEN, 2009), el CIIFEN aplica la definición de riesgo promulgada por ISDR y de reconocimiento global (ISDR, 2009), para a partir de allí efectuar diferentes aproximaciones a cada una de las variables, las tendencias de cambio climático como la amenaza, los factores de exposición, la vulnerabilidad y los elementos de resiliencia.

Para la temática del cambio climático el CIIFEN mantiene los siguientes principios fundamentales:

- 1) Entender y estimar el “Cambio Climático Próximo 10-15 años”.
- 2) Privilegiar la información climatológica histórica.
- 3) Gestión de riesgo al clima presente: primer paso a la adaptación factible.
- 4) Entender y estimar la vulnerabilidad en el territorio y su evolución.
- 5) La adaptación al CC es una construcción social que se forja en lo local.

El presente estudio intenta poner en práctica el marco conceptual previamente explicado y resolver de la manera más recursiva y científicamente válida, las limitaciones de información requerida para el presente estudio, que en algunos casos, aunque existente en las Instituciones del Ecuador, es inaccesible por diversos factores.

2. OBJETIVOS

Los objetivos planteados en este estudio y acordados entre FAO y CIIFEN son:

- Determinar las tendencias de índices de cambio climático basados en información histórica.
- Identificación de zonas agrícolas.
- Determinar el radio de influencia de las tendencias climáticas.
- Priorizar las zonas agrícolas que requerirán mayor intervención en un escenario de 10 - 15 años.

Todos estas acciones se llevaron a cabo en las provincias de Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha, El Oro, Guayas, Los Ríos y Santa Elena

3. ALCANCE DEL ESTUDIO

La evaluación fue realizada en base a información disponible en relación a clima y la información agrícola cartográfica convencional que proporcionó FAO provenientes tanto de SIGAGRO como de otras fuentes.

El análisis se enfoca en las provincias Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha, El Oro, Guayas, Los Ríos y Santa Elena. El presente trabajo no implica esfuerzos de campo ni desplazamientos a las regiones objeto del estudio, por lo que constituye una primera aproximación de las implicaciones de los posibles cambios en el clima sobre el sector agrícola en la zona central de la región interandina y centro-sur de la región costera del Ecuador. Si bien es cierto, en apariencia, existe mucha información disponible para efectuar un profuso análisis climático-agrícola, la experiencia lograda a través de este primer trabajo nos sugiere algo diferente.

El tema del cambio climático ha logrado posicionarse en la agenda política, económica y de la cooperación internacional en forma inédita. Esto conlleva a una presión nunca antes vista por obtener las mejores evidencias de cómo afectará a los diferentes sectores y que se debería hacer en el presente para reducir sus impactos.

Las premisas de las que se partió para la generación del estudio, contemplaban por un lado, la disponibilidad de datos climatológicos que permitan estimar tendencias aplicando una metodología muy reconocida a nivel mundial para la detección de extremos y cambio climático a través de índices. Por otro lado, se asumió la disponibilidad mínima de información agrícola con una cobertura espacial y temporal para la zona de estudio e igualmente información socioeconómica sobre la población objetivo del área de interés.

La obtención de los datos climáticos ha permitido efectuar el análisis de 57 estaciones meteorológicas pertenecientes al INAMHI. Las estaciones originalmente utilizadas fueron analizadas para filtrar aquellas que tengan datos faltantes que superen el 25% del total además de los controles de calidad estándar. Aquellas estaciones que cumplieron los requisitos de calidad, fueron analizadas para calcular los índices de interés. Cada uno de los índices en cada estación fue discriminado en base a su significancia estadística; aquellos que no cumplieron la condición no fueron considerados. Esto no supone una falta de resultados en dichas estaciones y debe ser interpretado como estabilidad climática o falta de señal de cambio durante el período analizado. Aún cuando no hubo dificultades para tener acceso y analizar la información aplicando la rutina para determinar los índices entre las estaciones con datos, se obtuvo diversas manifestaciones de los índices, unos con tendencia significativa aceptable, otros con muy baja significancia estadística probablemente relacionada a una baja señal de cambio en las tendencias climáticas de las series de tiempo.

Analizando el detalle de los datos climáticos, el estudio permite evidenciar una marcada diferencia entre los resultados de la costa y la sierra. Las estaciones climáticas en la costa, son más abundantes en relación con la superficie que cubren, presentan mayor significancia estadística y por sobre todo, la topografía plana de la costa, hace que la representatividad de las estaciones en el territorio sea mucho más amplia y sean menores los errores por vacíos de cobertura. Esto se traduce en una mayor coherencia en el mapeo de las tendencias para la costa.

En contraste, la región interandina por su accidentada topografía que incluye las cordilleras y los valles, tiene un amplia variedad de climas y microclimas,

generados no solo por la variación altitudinal sino también por los diferentes accidentes geográficos y los ecosistemas asociados. Durante el trabajo, las estaciones disponibles del INAMHI, que lograron pasar los filtros de significación estadística, tuvieron una representatividad espacial muy limitada. Se efectuó una estimación de la representación más probable en función de las curvas de nivel y cercanía a accidentes geográficos, con todo ello, la cobertura de información climática resultó extremadamente deficitaria para el área de estudio. Esto pone en evidencia una deficiencia específica en la capacidad observacional del clima en la sierra, que deberá ser fortalecida si realmente se quiere abordar el tema de la adaptación al cambio climático y la reducción de los impactos socio-económicos asociados a los eventos climáticos extremos.

La mayor limitación encontrada en este estudio, tiene relación directa con la información agrícola especialmente en la región interandina. Pese a todos los esfuerzos por lograr información más detallada de parte del MAGAP y concretamente del SIGAGRO, no se pudo sino obtener información desactualizada y de nivel de reconocimiento de escala media 1:250.000 de ODEPLAN, cuya resolución no permite diferenciar cultivos, peor aún con la particularidad de los cultivos de la sierra dada tanto por su tamaño (ya que muchos constituyen minifundios) como por su variabilidad (ya que muchos se apegan a ciclos rotativos), lo que constituye una verdadera dificultad al momento de ser identificados incluso con imágenes satelitales.

En el caso de la determinación de la vulnerabilidad de los cultivos frente al clima la mayor dificultad encontrada fue que no existe ningún registro histórico del comportamiento de los cultivos frente a la variabilidad climática ni tampoco ninguna información colectada en campo a través de los agricultores.

Frente a esta considerable limitación, se tuvo que aproximar la vulnerabilidad agrícola a partir de estadísticas de ocurrencia de eventos climáticos y vulnerabilidad socioeconómica. De inicio se procuró complementar este análisis utilizando datos de siniestralidad (frecuencia de desastres en el sector agrícola asociados a eventos climáticos) a partir de la base de datos DESINVENTAR, sin embargo se pudo determinar a lo largo del estudio que esta aproximación no representaba adecuadamente los patrones de vulnerabilidad en las provincias, motivo por el cual se recurrió a representar la siniestralidad a través de la valoración global de los eventos hidrometeorológicos a nivel cantonal, a partir de la información generada por el estudio de "Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador", realizado por COOPI, IRD, OXFAM.

Para poder conformar la vulnerabilidad se integró adicionalmente a la siniestralidad, el índice de pobreza por necesidades básicas insatisfechas a nivel parroquial como indicador socioeconómico. Y el factor amenaza se representó íntegramente por las tendencias climáticas obtenidas de las series de estaciones meteorológicas con registros más confiables para las zonas de estudio.

4. UBICACIÓN DE ÁREA DE ESTUDIO

Se localizaron en el país dos áreas de importancia agrícola en las regiones de sierra y costa, correspondientes a las provincias de Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi y Pichincha en la sierra; y las provincias El Oro, Guayas, Los Ríos y Santa Elena en la costa.

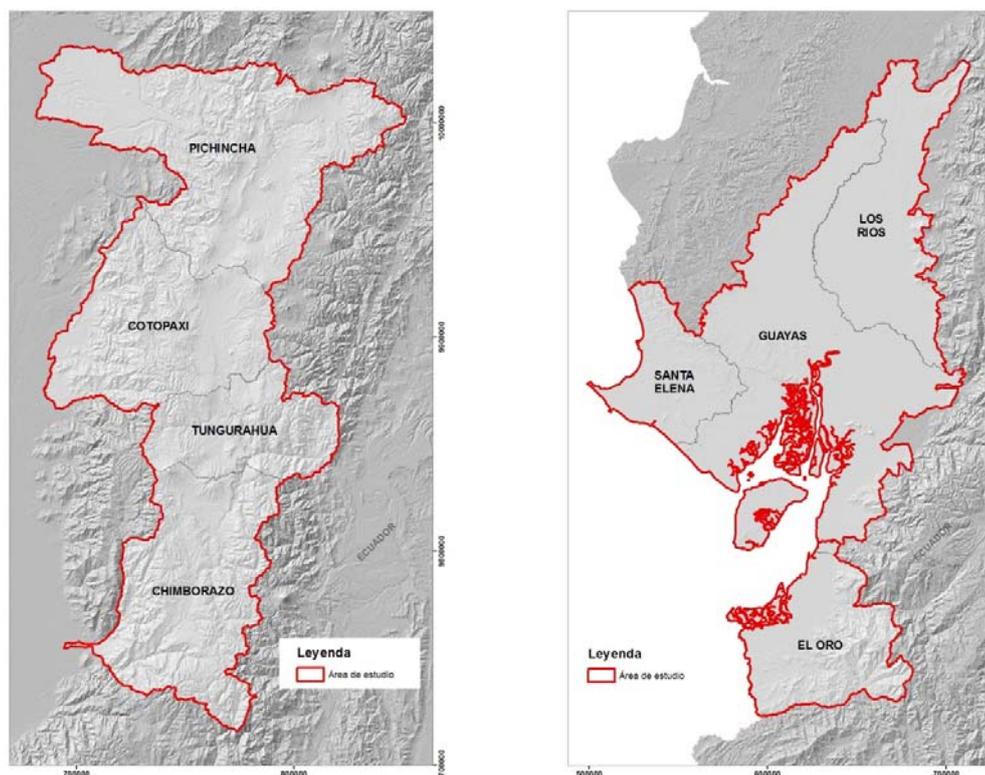


Figura 1. Localización de áreas de estudio en las regiones sierra y costa. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

5. METODOLOGÍA

El presente estudio logra obtener niveles de riesgo a partir del análisis de tendencias de cambio climático en zonas agrícolas del área de interés y se basa en la aplicabilidad de la fórmula general de riesgo [1].

$$\text{Riesgo} = \text{Amenaza} \cdot \text{Vulnerabilidad} \quad [1]$$

Donde **riesgo** se define como la probabilidad de exceder un valor específico de daños sociales, ambientales y económicos, en un lugar específico y durante un tiempo de exposición determinado. Los factores que lo componen son la amenaza y la vulnerabilidad.

Para la aplicación de la fórmula general de riesgo en el presente estudio se desarrollaron los componentes de la fórmula como se muestra en las siguientes ecuaciones [2] [3].

$$\text{Amenaza} = \text{Tendencias climáticas} \quad [2]$$

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{Siniestralidad} + \text{Índice de pobreza} + \text{Zonas agrícolas} \quad [3]$$

Amenaza es el factor externo al sujeto, objeto o sistema expuesto, representado por la potencial ocurrencia de un suceso de origen natural o generado por la actividad humana, que puede manifestarse en un lugar específico, con una intensidad y duración determinadas.

Las amenazas climáticas más adversas para los cultivos están principalmente constituidas por eventos extremos de precipitaciones y de temperatura. Estos parámetros son considerados como influyentes directos en el desarrollo fenológico de los cultivos; los efectos adversos del aumento de estos parámetros en intensidad y frecuencia producen inundaciones, sequías y heladas, eventos cuyos efectos son negativos para la mayoría de cultivos³. Para efectos de este estudio la amenaza fue compuesta de la tendencia de índices climáticos [2].

Vulnerabilidad es el factor interno de un sujeto, objeto o sistema expuesto a una amenaza, que corresponde a su disposición intrínseca a ser dañado. En el contexto agrícola se entiende por vulnerabilidad la compuesta por la susceptibilidad del cultivo en sus diferentes ciclos de desarrollo y la capacidad de enfrentar las adversidades representada por las prácticas de manejo del agricultor, y la relación de esto junto con la exposición del cultivo representada principalmente por la presencia del cultivo en zonas de recurrencia de eventos adversos como inundaciones y heladas³. Las variables que integran la vulnerabilidad en el presente estudio considera en las zonas agrícolas por exposición histórica la siniestralidad basada en la valoración global de los eventos hidrometeorológicos ocurridos en la zona de estudio, relacionadas con inundaciones, deslizamientos/derrumbes y sequías a nivel cantonal; y como un indicador de susceptibilidad /resiliencia se considera el índice de pobreza por necesidades básicas insatisfechas [3].

En el cálculo de riesgo, las variables de amenaza y vulnerabilidad se ponderan sobre un valor total de 100 de acuerdo a los criterios descritos en la Tabla 1:

TEMÁTICA	PONDERACIÓN
Tendencias climáticas	10
Siniestralidad	5
Índice de pobreza	5

Tabla 1. Valores de ponderación de variables consideradas para la estimación del riesgo. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Donde aplicando a la fórmula general del riesgo [1] los valores ponderados, el cálculo se expresa de forma siguiente:

$$100 = 10 \cdot (5 + 5)$$

Los valores de riesgo resultantes se representan según la clasificación de cuantiles bajo una categorización de siete intervalos.

VALOR DEL RIESGO	CATEGORÍA
7	Extremadamente alto
6	Muy alto
5	Alto
4	Moderado
3	Bajo
2	Muy bajo
1	Despreciable

Tabla 2. Categorización de valores resultantes de estimación del riesgo. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Con esta categorización podemos clasificar con más precisión y detalle, la distribución de los datos resultantes para las áreas de estudio.

El desarrollo del trabajo de investigación estuvo conformado principalmente por las actividades más relevantes que se detallan a continuación:

Tendencias

- Selección de estaciones meteorológicas con registros históricos.
- Control de calidad de estaciones meteorológicas.
- Corrida del RClmDex.
- Selección de tendencias significativas resultantes.
- Ploteo de tendencias.

Radios de Influencia

- Elaboración de un radio de influencia de 15 Km para cada estación meteorológica.
- Análisis de geomorfología, curvas de nivel y radios de influencia para determinar las zonas de influencia de cada estación meteorológica.
- Asignación de valores de tendencias proporcionados por las estaciones meteorológicas a sus respectivas zonas de influencia.

Zonas Agrícolas

- Identificación de cultivos en base de datos proporcionada.
- Elaboración de las zonas agrícolas.

Siniestralidad

- Ploteo peligros hidrometeorológicos a nivel cantonal.
- Cálculo de siniestralidad.

Índice de Necesidades Básicas Insatisfechas

- Ploteo del índice NBI a nivel parroquial.

Amenaza Climática

- Cruce de variables, ponderación y cálculo.

Vulnerabilidad Agrícola

- Cruce de variables, ponderación y cálculo.

Estimación de Riesgo Agrícola

- Cruce de variables, ponderación y cálculo.

Mapas

- Diseño de plantilla de mapas
- Elaboración de mapas de tendencias (CDD, CWD, R99P, TN y TXX) para ambas áreas de estudio (Sierra y Costa).
- Elaboración de mapas de estimación de riesgo climático agrícola para las áreas de interés.

Memoria Técnica

- Elaboración de memoria técnica.
- Elaboración de gráficos y tablas ilustrativas de resultados y procesos.

A continuación se muestra un flujograma metodológico para la obtención de la estimación del riesgo en las zonas de estudio (Figura 2).

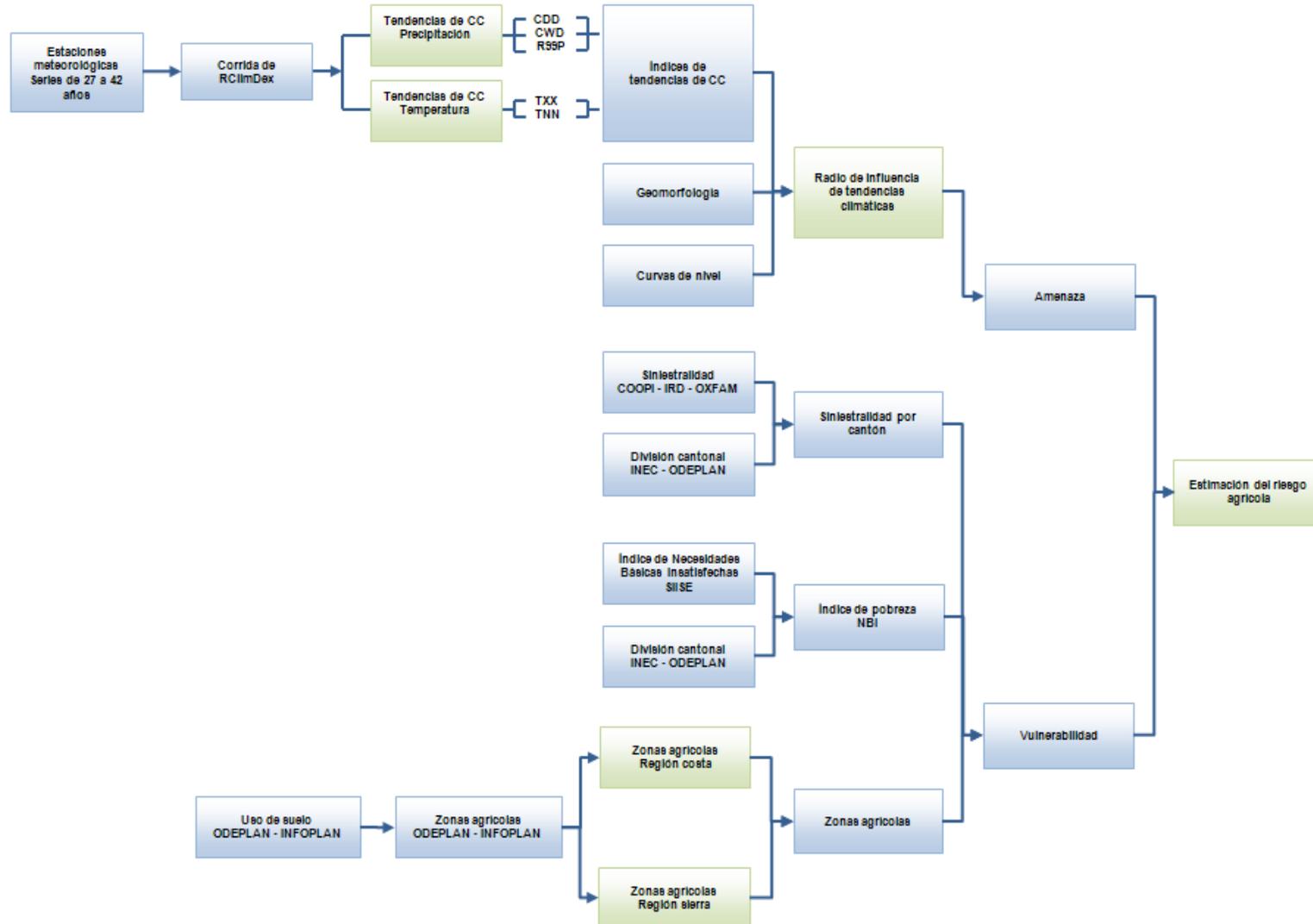


Figura 2. Flujograma metodológico del estudio para la estimación del riesgo agrícola. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

6. INFORMACIÓN CLIMÁTICA

La información climática fue desarrollada en base a las series históricas de datos diarios de precipitación y temperatura de estaciones meteorológicas del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) y del INOCAR (Instituto Oceanográfico de la Armada). Los períodos de medición y coordenadas de las estaciones se muestran en la Tabla 3.

No.	ÁREA DE ESTUDIO	NOMBRE	CÓDIGO	PERÍODO	COORDENADA X,Y (grados decimales)	FUENTE
01	Costa	La Libertad	-	1975-2004	-80.90, -2.20	INOCAR
02	Costa	Guayaquil	-	1962-2004	-79.90, -2.26	INOCAR
03	Costa	Puná	-	1977-2004	-79.91, -2.74	INOCAR
04	Costa	Puerto. Bolívar	-	1977-2004	-80, -3.25	INOCAR
05	Costa	Pichilingue	M006	1963-2006	-79.46, -1.1	INAMHI
06	Costa	La Concordia	M025	1964-2006	-79.37, 0.026	INAMHI
07	Costa	Bucay	M039	1966-2000	-79.13, -2.19	INAMHI
08	Costa	Pasaje	M040	1964-2006	-79.78, -3.32	INAMHI
09	Costa	Cayapas	M154	1965-2005	-78.96, 0.855	INAMHI
10	Costa	Olmedo-Manabí	M166	1964-2006	-80.21, -1.39	INAMHI
11	Costa	Naranjal	M176	1964-2006	-79.65, -2.66	INAMHI
12	Costa	Zaruma	M180	1964-2005	-79.61, -3.69	INAMHI
13	Costa	Ingenio San Carlos	M218	1966-2002	-79.44, -2.2	INAMHI
14	Costa	San Isidro-Manabí	M446	1964-2005	-80.16, -0.37	INAMHI
15	Costa	La Laguna	M448	1964-2006	-80.62, -1.15	INAMHI
16	Costa	Sancan	M449	1964-2006	-80.58, -1.25	INAMHI
17	Costa	Zapote	M452	1964-2006	-80.05, -0.93	INAMHI
18	Costa	Chorrillos	M453	1965-2006	-80.68, -1.05	INAMHI
19	Costa	Joa-Jipijapa	M455	1968-2006	-80.63, -1.37	INAMHI
20	Costa	Puerto Cayo	M457	1968-2005	-80.73, -1.34	INAMHI
21	Costa	San Pablo-Manabí	M459	1970-2006	-80.59, -1.57	INAMHI
22	Costa	Vinces Inamhi	M466	1964-2006	-79.75, -1.54	INAMHI
23	Costa	Puerto Inca(Cannar En)	M477	1966-2006	-79.54, -2.53	INAMHI
24	Costa	Portoviejo-UTM	M005	1964-2006	-80.46, -1.04	INAMHI
25	Costa	Milagro(Ingenio Valdez)	M037	1964-2006	-79.59, -2.11	INAMHI
26	Costa	Muisne	M153	1963-2006	-80.02, 0.615	INAMHI
27	Costa	Chone	M162	1964-2006	-80.10, -0.70	INAMHI

28	Costa	Boyacá	M163	1964-2005	-80.20, -0.56	INAMHI
29	Costa	Rocafuerte	M165	1964-2006	-80.44, -0.92	INAMHI
30	Costa	Jama	M167	1964-2005	-80.27, -0.20	INAMHI
31	Costa	Julcuy	M169	1970-2006	-80.63, -1.48	INAMHI
32	Costa	Sague (San Mateo)	M441	1964-2005	-79.63, 0.897	INAMHI
33	Costa	24 De Mayo(Jaboncillo)	M447	1965-2005	-80.41, -1.27	INAMHI
34	Costa	Camarones-Manabí	M450	1964-2006	-80.77, -1.12	INAMHI
35	Costa	El Anegado	M451	1963-2006	-80.53, -1.47	INAMHI
36	Costa	Rio Chico En Alajuela	M454	1967-2005	-80.29, -1.05	INAMHI
37	Costa	Jama Aj Mariano	M456	1964-2002	-80.25, -0.27	INAMHI
38	Costa	Colimes De Paján	M458	1968-2005	-80.50, -1.59	INAMHI
39	Costa	Rio Chamotete-Jesús María	M464	1968-2006	-80.23, -1.03	INAMHI
40	Costa	Ventanas Inamhi	M465	1964-2005	-79.46, -1.44	INAMHI
41	Costa	La Capilla Inamhi	M476	1967-2006	-79.99, -1.69	INAMHI
42	Costa	Portoviejo Aeropuerto	M274	-	-80.45, -1.05	INAMHI
43	Sierra	Izobamba	M003	1964-2006	-78.55, -0.37	INAMHI
44	Sierra	La Argelia-Loja	M033	1964-2006	-79.2, -4.03	INAMHI
45	Sierra	El Corazón	M123	1964-2006	-79.07, -1.13	INAMHI
46	Sierra	San Juan La Maná	M124	1964-2006	-79.24, -0.91	INAMHI
47	Sierra	Caluma	M129	1964-1999	-79.29, -1.62	INAMHI
48	Sierra	Zapotillo	M151	1964-2004	-80.23, -4.38	INAMHI
49	Sierra	Santa Anita-Km. 10 Vía Chone	M348	1964-2006	-79.24, -0.23	INAMHI
50	Sierra	Moraspungo-Cotopaxi	M368	1963-2006	-79.22, -1.17	INAMHI
51	Sierra	Echeandía	M383	1968-2005	-79.28, -1.42	INAMHI
52	Sierra	Rumipamba-Salcedo	M004	1976-2006	-78.59, -1.02	INAMHI
53	Sierra	Otavalo	M105	1965-2005	-78.27, 0.23	INAMHI
54	Sierra	Querochaca(Uta)	M258	1985-2006	-78.58, -1.4	INAMHI
55	Sierra	Quito Inamhi-Iñaquito	M024	1964-2006	-78.48, -0.17	INAMHI
56	Sierra	Paute	M138	1964-2006	-78.76, -2.78	INAMHI
57	Sierra	San Gabriel	M103	1965-2005	-77.82, 0.6	INAMHI

Tabla 3. Información de estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Los datos de las estaciones meteorológicas provistas por el INAMHI tienen períodos de medición que van desde los 27 a los 42 años de datos consecutivos. Por ser datos diarios permiten tener una adecuada representación del clima en los sitios de medición y un radio de influencia en el cual, lo medido en la estación es consistente con el clima circundante. De esta forma, pese a tener estaciones en sitios muy puntuales y dispersos, maximizamos el área que puede ser aceptablemente representada por las mediciones.

7. TENDENCIAS DE ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Utilización de RclimDex

Para el análisis de tendencias de índices de cambio climático se empleó el paquete estadístico Rclimdex. El RclimDex es un software desarrollado y mantenido por Xuebin Zhang y Feng Yang (2004) del Departamento de Investigación Climática del Servicio Meteorológico de Canadá. El paquete ha sido adoptado por el Grupo de Expertos de la Comisión de Climatología de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de Variabilidad Climática (CLIVAR) en Detección de índices de cambio climáticos y extremos CCI/CLIVAR ETCCDMI (Karl, 1999; Peterson, 2005). El RclimDex ha sido usado en Talleres de CCI/CLIVAR ETCCDMI en diferentes partes del mundo y su aplicación ha sido de mucha utilidad en la temática de cambio climático.

El RclimDex permite además realizar un control de calidad básico de los datos que se complementa con el control de calidad hecho en forma separada al set de datos, en nuestro estudio aplicamos estos controles de calidad a los registros obtenidos de las estaciones proporcionadas por INAMHI.

Los índices de cambio climáticos que pueden calcularse se listan a continuación. Para efectos de este estudio se utilizaron, los más relevantes para el sector agrícola.

ID	NOMBRE DEL INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
FDO	Frost days (Días de heladas)	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario)<0°C	Días

SU25	Summer days (Días de verano)	Número de días en un año cuando TX(máximo diario)>25°C	Días
ID0	Ice days (Días de hielo)	Número de días en un año cuando TX(máximo diario)<0°C	Días
TR20	Tropical nights (Noches tropicales)	Número de días en un año cuando TN(mínimo diario)>20°C	Días
GSL	Growing season Length (Duración de la estación de cultivo)	Anual (1st Ene a 31st Dic en HN, 1st Julio a 30th Junio en HS) cuenta entre el primer periodo de por lo menos 6 días con TG>5°C y primer periodo después de Julio 1 (Enero 1 en HS) de 6 días con TG<5°C	Días
TXx	Max Tmax	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
TNx	Max Tmin	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
TXn	Min Tmax	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
TNn	Min Tmin	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
WSDI	Warm duration indicator (Indicador de la duración de periodos calientes)	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TX>90th percentil	Días
CSDI	Cold duration indicator (indicador de la duración de periodos fríos)	Contaje anual de días con por lo menos 6 días consecutivos en que TN<10th percentil	Días
DTR	Diurnal temperature range (rango de diurno de	Diferencia media mensual entre TX y TN	°C

temperatura)

RX1day	Max 1-day precipitation amount (Cantidad Máxima de precipitación en un día)	Máximo mensual de precipitación en 1 día	Mm
Rx5day	Max 5-day precipitation amount (Cantidad Máxima de precipitación en 5 días)	Máximo mensual de precipitación en 5 días consecutivos	Mm
SDII	Simple daily intensity index (Índice simple de intensidad diaria)	Precipitación anual total dividida para el número de días húmedos (definidos por PRCP>=1.0mm) en un año	Mm/día
R10	Number of heavy precipitation days (Número de días con precipitación intensa)	Número de días en un año en que PRCP>=10mm	Días
R20	Number of very heavy precipitation days (Número de días con precipitación muy intensa)	Número de días en un año en que PRCP>=20mm	Días
Rnn	Number of days above nmm (Número de días sobre nn mm)	Número de días en un año en que PRCP>=nn mm, nn es un parámetro definido por el usuario	Días

CDD	Consecutive dry days (Días secos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	Días
CWD	Consecutive wet days (Días húmedos consecutivos)	Número máximo de días consecutivos con RR>=1mm	Días
R95p	Very wet days (Días muy húmedos)	Precipitación anual total en que RR>95 percentil	Mm
R99p	Extremely wet days (Días extremadamente secos)	Precipitación anual total en que RR>99 percentil	mm
PRCPTOT	Annual total wet-day precipitation (Precipitación total anual en los días húmedos)	Precipitación anual total en los días húmedos (RR>=1mm)	mm

Tabla 4. Índices climáticos posibles a calcular con la aplicación RClmDex. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Para el control de la calidad y homogeneidad de los datos se realiza un ordenamiento y depuración de los datos meteorológicos diarios. Dentro del proceso de control de calidad, se eliminan datos con códigos de ausencia y datos duplicados contradictorios. Se identifican y eliminan aquellos valores superiores a 250 mm, pero se admitieron valores diarios de precipitación de hasta 300 mm en aquellos años bajo la influencia del fenómeno El Niño, por los eventos anómalos de intensa precipitación que pueden llevar asociados.

Para poder realizar con mayor comodidad los análisis estadísticos necesarios se procede a clasificar la información en hojas de cálculo de MS Excel exclusivas para cada estación meteorológica.

Se debe trabajar además en la conversión de las tablas de datos a formatos de entrada del programa RClimDex, cuyos requerimientos de formato son los siguientes:

1. Archivo de texto ASCII
2. Secuencia de columnas: AÑO, MES, DÍA, PRCP, TMAX, TMIN.
3. Formato delimitado por espacios.
4. Datos ausentes codificados como -99.9.
5. Registros de datos dispuestos en orden cronológico, permitiéndose la existencia fechas sin datos asociados.

Para llevar a cabo esta transformación de formatos se confeccionó una rutina automatizada (macro) en MS Excel que dispusiera de manera automática los datos del formato matricial a formato de columnas conforme a las anteriores especificaciones. El período elegido finalmente para este análisis fue 1966-2005 (40 años), para el que se admitieron las estaciones con una proporción de datos ausentes inferior al 15% para dicho período.

Posteriormente se determinan los índices climáticos a calcular y se ejecuta la aplicación. El proceso se ilustra en la Figura 3.

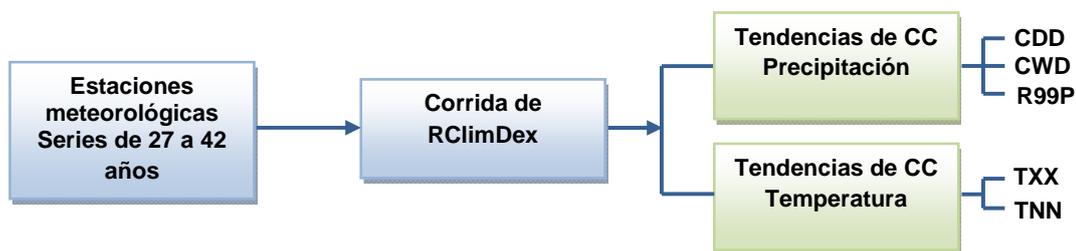


Figura 3. Esquema para la obtención de los índices climáticos. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Determinación de los índices climáticos

La aproximación utilizada en este proyecto considera como amenaza climática a la combinación ponderada de índices climáticos calculados. De acuerdo a la metodología utilizada, la confiabilidad de la proyección de las tendencias no sobrepasa a los 15 años, por ello es que los resultados obtenidos en el presente estudio deberían tener ese horizonte de tiempo. Se identificaron los índices climáticos cuya variabilidad o cambio está relacionado directamente con la posible afectación agrícola en las áreas de estudio.

La determinación de índices y esta metodología apuntan a efectuar en primer término, la detección de cambio climático. Esto significa que el hecho de analizar una multiplicidad de estaciones o puntos geográficos no va necesariamente a arrojar como resultados índices de cambio climático en cada localidad. La razón de esto es que para detectar un índice que signifique cambio climático a partir de los datos provistos, primeramente se debe obtener un nivel de confianza del análisis que para efectos de este estudio se lo colocó en el 60%, especialmente por la limitada cantidad de estaciones aunque lo recomendable es que sea más alto. Las estaciones cuyo análisis superó el límite óptimo fueron utilizadas y no descartadas. Las estaciones que arrojaron un índice inferior al considerado por este estudio se eliminaron por su nivel bajo de confianza, este filtro nos permite discriminar estaciones con buena o mala calidad de información. El siguiente factor a considerar es sí el resultado obtenido permite estimar alguna tendencia positiva o negativa, si esta se obtiene, se habrá “detectado” un cambio en el índice que merezca ser considerado para el análisis motivo de este estudio. Si no hay tendencia, los datos no sugieren cambio alguno por lo que se asume para esa estación y su área de influencia condiciones normales (sin cambios en su variabilidad natural) en los próximos años.

Para ambas regiones se seleccionaron los índices climáticos de precipitación y temperatura CWD, CDD, R99P, TNN y TXX; debido a la influencia directa que podría tener la variabilidad de estos índices en el sector agrícola.

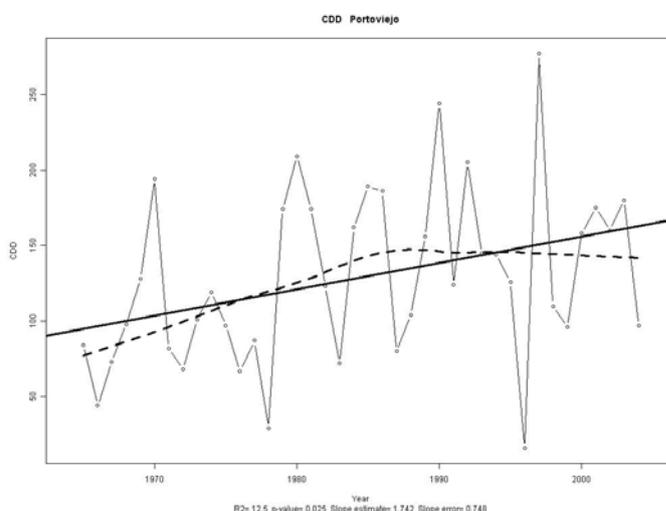
	ÍNDICE	DEFINICIÓN	UNIDADES
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con PRCP <1mm	días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con PRCP ≥ 1mm	días
R99p	Lluvias extremas	Precipitación anual total en que PRCP > 99 percentil	mm
TXX	Días cálidos	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
TNN	Noches frías	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C

Tabla 5. Índices de precipitación y temperatura corridos por la aplicación RCLimDex para el estudio. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

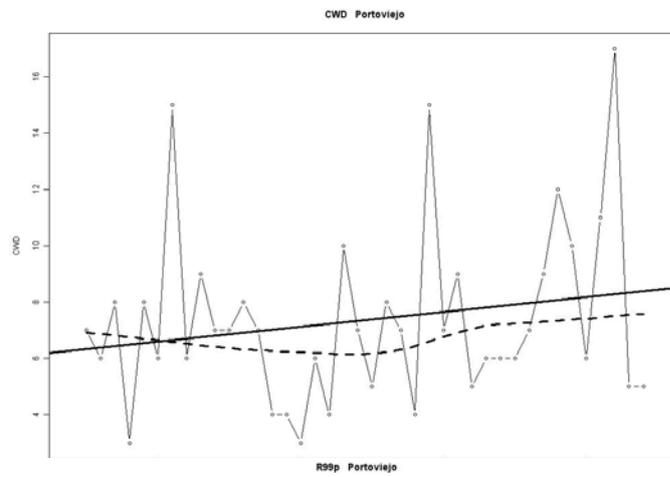
Tendencias de cambio climático

Después de correr la aplicación RCLimDex para las estaciones seleccionadas se obtuvieron gráficos de las series anuales de los índices climáticos que contienen la tendencia calculada por regresión lineal de mínimos cuadrados y regresión lineal, también constan en los gráficos las estadísticas del ajuste de curvas lineal (R2, p-value, estimación de pendiente y error de pendiente). A continuación se muestran los resultados de las tendencias en los índices climáticos calculados para la estación de Portoviejo (INAMHI).

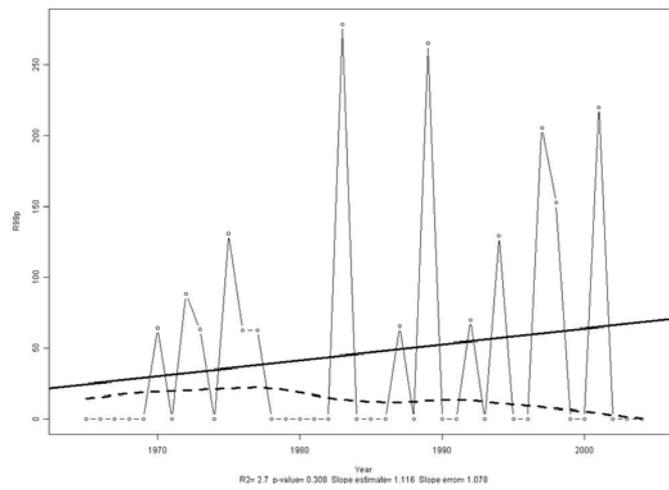
a)



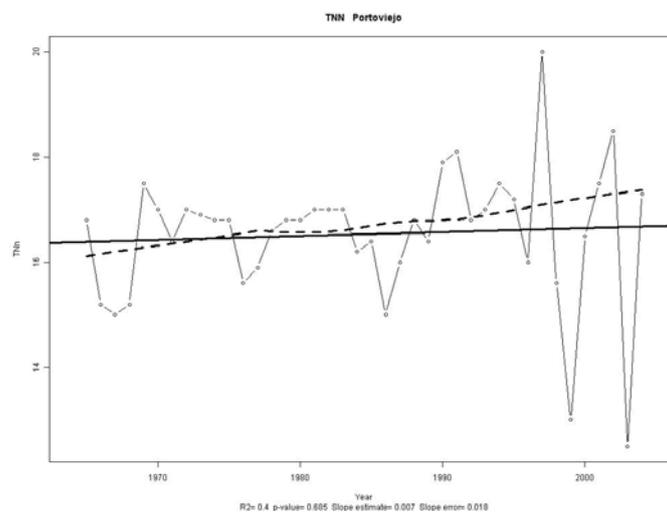
b)



c)



d)



e)

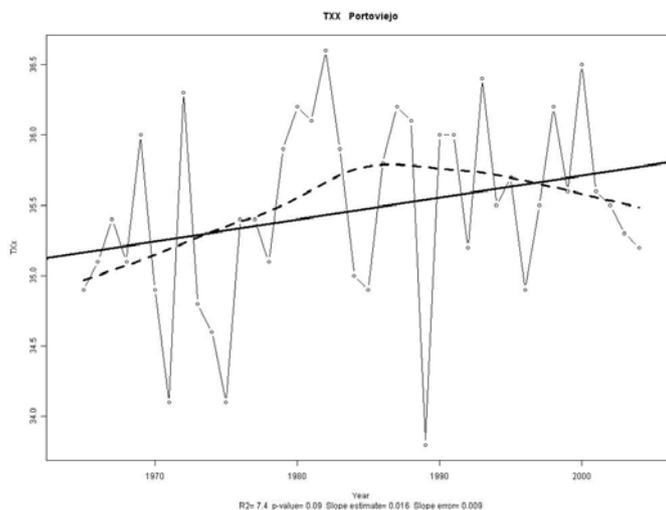


Figura 4. Gráficos de tendencias climáticas obtenidos a partir de la corrida del RClmDex, correspondientes a la estación Portoviejo. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Una vez obtenidos los plots con las estadísticas obtenidas, se procede a seleccionar la significancia de las tendencias (p-value) que cumplan con el requisito de significancia estadística del 60%, considerando de esta manera un margen mayor de probabilidades de ocurrencia de los eventos climáticos consecuentes debido a la variabilidad o cambio en el comportamiento de los índices seleccionados.

Para cubrir el área de estudio en la costa, para las provincias de Santa Elena, Guayas y El Oro, se adicionó información de tendencias climáticas obtenidas por Hernández (2006) en su estudio sobre la variabilidad climática para la costa ecuatoriana para el período 1949 -2004 en base a datos de estaciones meteorológicas del INOCAR.

Las series de tiempo de 57 estaciones meteorológicas nos permitieron obtener los valores de tendencias de los 5 índices climáticos seleccionados. Los valores resultantes se detallan en la Tabla 6.

ÁREA	#	NOMBRE	CODIGO	LONGITUD	LATITUD	TXX	TNN	CDD	CWD	R99P	FUENTE	PERÍODO
Sierra	1	IZOBAMBA	M003	-78,55	-0,37	0,800	0,300	0,910	-0,300	2,756	INAMHI	1964-2006
Sierra	2	RUMIPAMBA-SALCEDO	M004	-78,59	-1,02	-0,400	0,800				INAMHI	1976-2006
Costa	3	PORTOVIEJO-UTM	M005	-80,47	-1,04				0,290		INAMHI	1964-2006
Costa	4	PICHILINGUE	M006	-79,46	-1,10			0,240	-0,910	0,148	INAMHI	1963-2006
Sierra	5	QUITO INAMHI-IÑAQUITO	M024	-78,48	-0,17	0,900	0,200				INAMHI	1964-2006
Costa	6	LA CONCORDIA	M025	-79,37	0,03			0,230	0,400	-0,430	INAMHI	1964-2006
Sierra	7	LA ARGELIA-LOJA	M033	-79,20	-4,03	0,240	-0,400	-0,230	0,400	0,621	INAMHI	1964-2006
Costa	8	MILAGRO (INGENIO VALDEZ)	M037	-79,60	-2,12				0,140		INAMHI	1964-2006
Costa	9	BUCAY	M039	-79,13	-2,20			-0,630	-0,100		INAMHI	1966-2000
Costa	10	PASAJE	M040	-79,78	-3,33			-0,140	0,380		INAMHI	1965-2005
Sierra	11	SAN GABRIEL	M103	-77,82	0,60		0,300				INAMHI	1965-2005
Sierra	12	OTAVALO	M105	-78,27	0,23	0,100	0,100				INAMHI	1965-2005
Sierra	13	EL CORAZON	M123	-79,08	-1,13			-0,880	0,356	-12,839	INAMHI	1964-2006
Sierra	14	SAN JUAN LA MANA	M124	-79,25	-0,92	-0,100	-0,600	0,200	-0,183		INAMHI	1964-2006
Sierra	15	CALUMA	M129	-79,29	-1,62	0,700	-0,100	-0,191	0,320		INAMHI	1964-1999
Sierra	16	PAUTE	M138	-78,76	-2,78	0,700	0,100				INAMHI	1964-2006
Sierra	17	ZAPOTILLO	M151	-80,24	-4,38			-0,800	0,810	0,381	INAMHI	1964-2004
Costa	18	MUISNE	M153	-80,02	0,62				-0,134	-7,100	INAMHI	1963-2006
Costa	19	CAYAPAS	M154	-78,97	0,86			0,284	-0,114		INAMHI	1965-2005
Costa	20	CHONE	M162	-80,11	-0,71				-0,322		INAMHI	1964-2006
Costa	21	BOYACA	M163	-80,21	-0,57				0,139		INAMHI	1964-2005
Costa	22	ROCAFUERTE	M165	-80,45	-0,92				-0,100		INAMHI	1964-2005
Costa	23	OLMEDO-MANABI	M166	-80,21	-1,40	-0,360		0,358	-0,257		INAMHI	1964-2006
Costa	24	JAMA	M167	-80,27	-0,21				-0,440		INAMHI	1964-2005
Costa	25	JULCUY	M169	-80,63	-1,48				-0,380		INAMHI	1970-2006
Costa	26	NARANJAL	M176	-79,66	-2,66	0,240		0,350	-0,128	-6,770	INAMHI	1964-2006
Costa	27	ZARUMA	M180	-79,62	-3,70			0,260	0,690		INAMHI	1964-2005
Costa	28	INGENIO SAN CARLOS	M218	-79,44	-2,20			-0,578	0,110		INAMHI	1966-2002
Sierra	29	QUEROCHACA (UTA)	M258	-78,58	-1,40	0,200	0,200				INAMHI	1985-2006
Costa	30	PORTOVIEJO AEROPUERTO	M274	-80,46	-1,06	0,330					INAMHI	-
Sierra	31	SANTA ANITA-KM. 10 VIA CHONE	M348	-79,25	-0,23			0,218	0,240	-8,290	INAMHI	1964-2006
Sierra	32	MORASPUNGO-COTOPAXI	M368	-79,22	-1,18			-0,950	-0,370	-0,822	INAMHI	1963-2006
Sierra	33	ECHEANDIA	M383	-79,29	-1,43			-0,790	0,166		INAMHI	1968-2005
Costa	34	SAGUE(SAN MATEO)	M441	-79,63	0,90				0,190	-1,290	INAMHI	1964-2005
Costa	35	SAN ISIDRO-MANABI	M446	-80,16	-0,37			0,800	-0,173	-2,210	INAMHI	1964-2005
Costa	36	24 DE MAYO (JABONCILLO)	M447	-80,42	-1,28				-0,820		INAMHI	1965-2005
Costa	37	LA LAGUNA	M448	-80,62	-1,15			-0,787	-0,470		INAMHI	1964-2006
Costa	38	SANCAN	M449	-80,59	-1,26			0,360	0,162	-3,960	INAMHI	1964-2006
Costa	39	CAMARONES-MANABI	M450	-80,78	-1,13				0,180		INAMHI	1964-2006

Costa	40	EL ANEGADO	M451	-80,54	-1,48	-0,200			0,690	-3,200	INAMHI	1963-2006
Costa	41	ZAPOTE	M452	-80,06	-0,94			-0,669	0,170		INAMHI	1964-2006
Costa	42	CHORRILLOS	M453	-80,69	-1,05			0,111	-0,210		INAMHI	1965-2006
Costa	43	RIO CHICO EN ALAJUELA	M454	-80,29	-1,05				0,180		INAMHI	1967-2005
Costa	44	JOA-JIPIJAPA	M455	-80,63	-1,38			-0,122	-0,332		INAMHI	1964-2002
Costa	45	JAMA AJ MARIANO	M456	-80,25	-0,28				0,840		INAMHI	1964-2002
Costa	46	PUERTO CAYO	M457	-80,74	-1,35			-0,837	0,200		INAMHI	1968-2005
Costa	47	COLIMES DE PAJAN	M458	-80,51	-1,59	-0,247			0,300	-0,247	INAMHI	1968-2005
Costa	48	SAN PABLO-MANABI	M459	-80,59	-1,58			-0,730	0,380		INAMHI	1970-2006
Costa	49	RIO CHAMOTETE-JESUS MARIA	M464	-80,23	-1,04				-0,270		INAMHI	1968-2006
Costa	50	VENTANAS INAMHI	M465	-79,47	-1,44				-0,134		INAMHI	1964-2005
Costa	51	VINCES INAMHI	M466	-79,75	-1,55			0,282	-0,630		INAMHI	1964-2006
Costa	52	LA CAPILLA INAMHI	M476	-80,00	-1,70				0,590		INAMHI	1967-2006
Costa	53	PUERTO INCA	M477	-79,54	-2,53			-0,176	0,294		INAMHI	1966-2006
Costa	54	LA LIBERTAD	INOCAR	-80,90	-2,20	0,500			0,700		INOCAR	1975-2004
Costa	55	PUERTO BOLÍVAR	INOCAR	-80,00	-3,25	-0,300	0,400	0,560	-0,300		INOCAR	1977-2004
Costa	56	ISLA PUNÁ	INOCAR	-79,91	-2,74	-0,500	0,300		0,280	-4,830	INOCAR	1977-2004
Costa	57	GUAYAQUIL	INOCAR	-79,90	-2,26	0,300	0,100	1,430		2,880	INOCAR	1962-2004

Tabla 6. Valores de índices para las diferentes estaciones meteorológicas corridos por la aplicación RCLimDex. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

8. RADIOS DE INFLUENCIA DE TENDENCIAS CLIMÁTICAS

Los índices de tendencias climáticas obtenidos se mapean de acuerdo a las coordenadas que ubican cada estación meteorológica. Estos puntos generados nos sirven de base para identificar las zonas en donde debemos trabajar y lograr determinar sus radios de influencia. En primer lugar se toman las estaciones que se encuentren específicamente dentro del área de interés y las que se encuentran en su periferia próxima, ya que estas últimas también pueden influenciar zonas dentro del área de estudio. Ya identificados las estaciones se aplican los criterios de estimación de radios de influencia (Guía de Práctica Climatológicas de la Organización Meteorológica Mundial, 2010) determinados en el análisis de la geomorfología del terreno (considerando como barreras naturales las montañas, colinas, relieve escarpado, relieve montañoso, terrazas y gargantas de valles encañonados) y curvas de nivel (Figura 5).

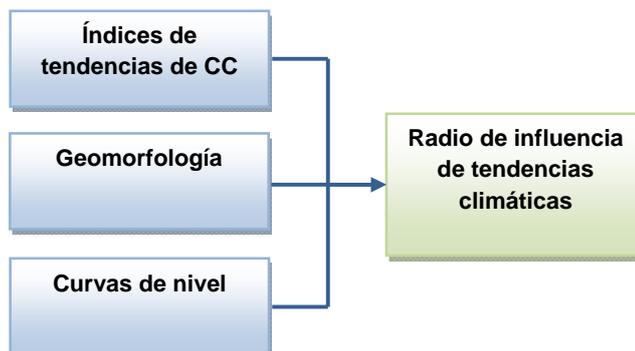


Figura 5. Esquema para la determinación de los radios de influencia de las tendencias climáticas. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Para determinar los radios de influencia en el área de estudio de la región sierra se consideraron 11 estaciones meteorológicas y para la región costa 18 estaciones, en las Figuras 3 y 4 constan los radios de influencia obtenidos para el presente estudio.

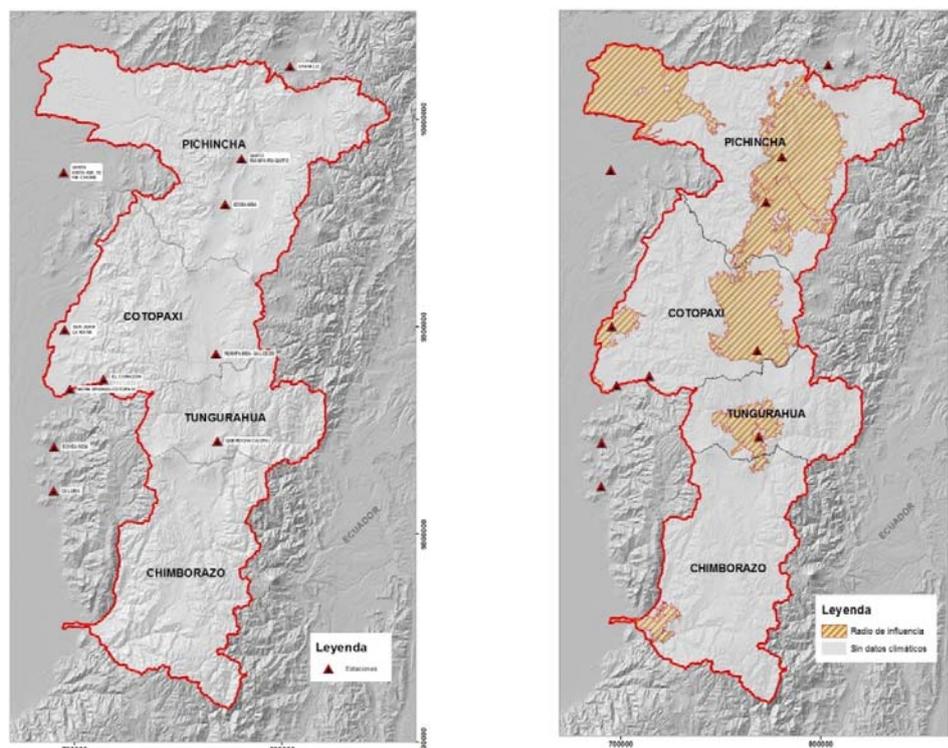


Figura 6. Estaciones meteorológicas y sus radios de influencia para el área de estudio en la región sierra. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

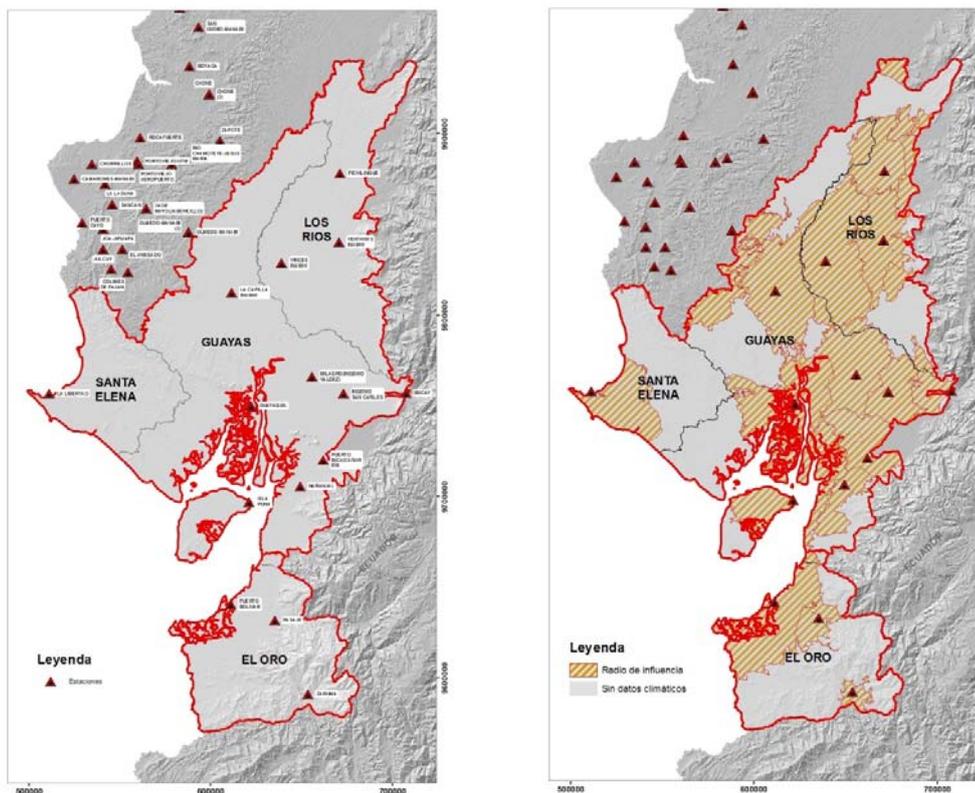
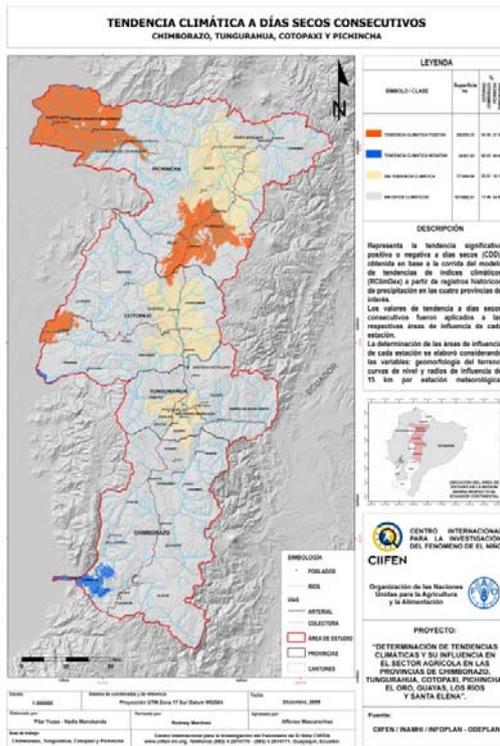


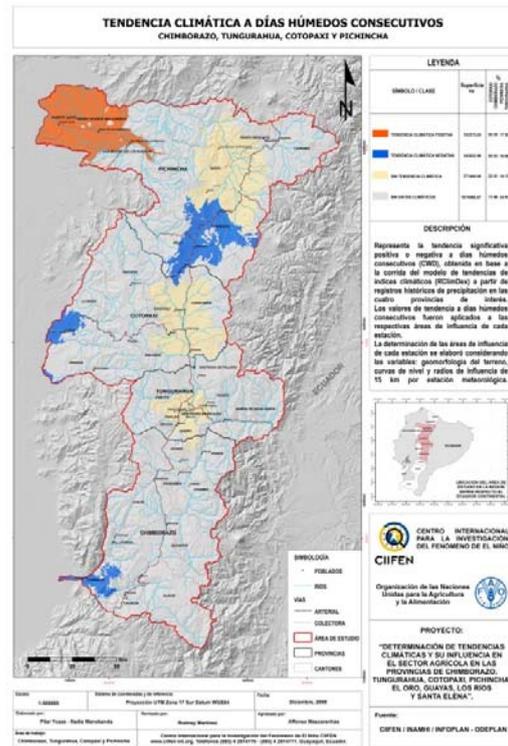
Figura 7. Estaciones meteorológicas y sus radios de influencia para el área de estudio en la región costa. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Zonas de Tendencia Climáticas

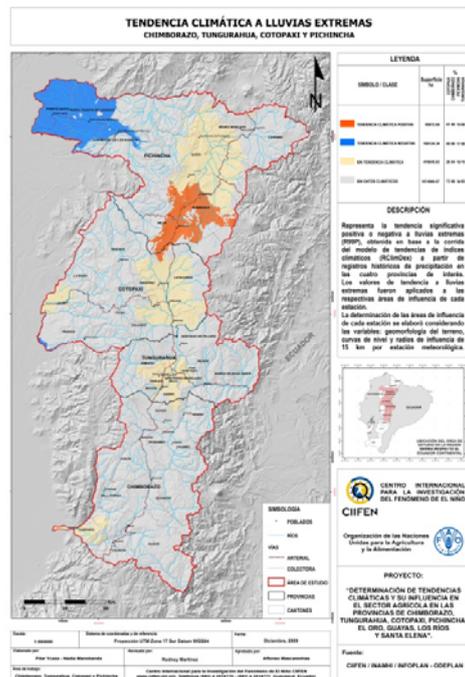
El área de influencia determinada para las estaciones se vincula con los valores de tendencias anteriormente obtenidos por cada estación. Para el caso del área de estudio de la región sierra, se obtuvieron las tendencias climáticas de los índices CDD (días secos consecutivos), CWD (días húmedos), R99P (lluvias extremas), TXX (días cálidos) y TNN (noches frías) como se muestra en la Figura 8.



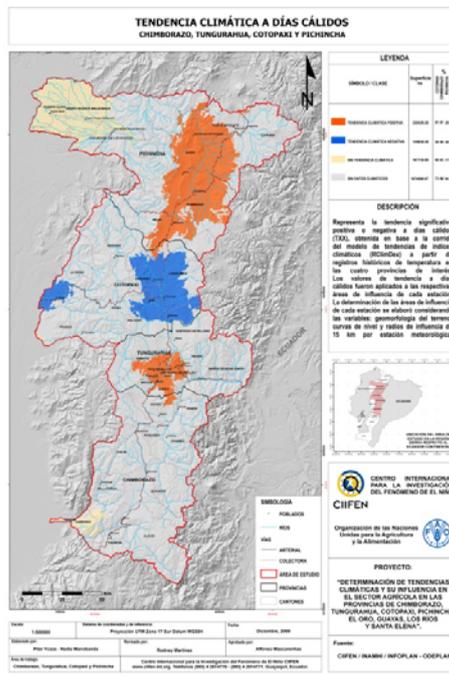
a)



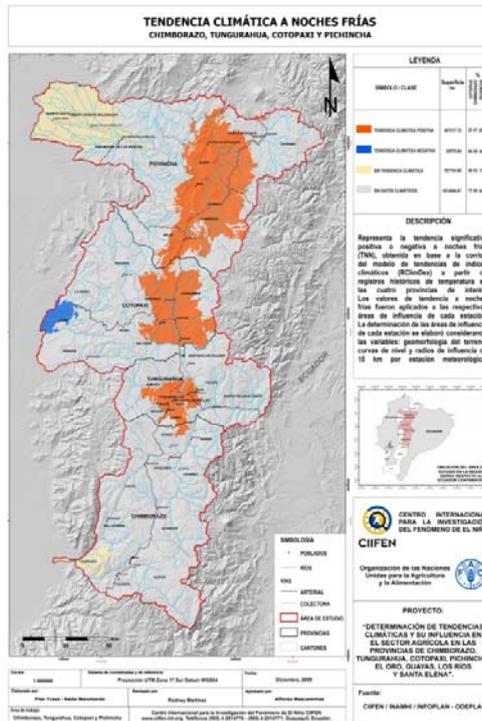
b)



c)



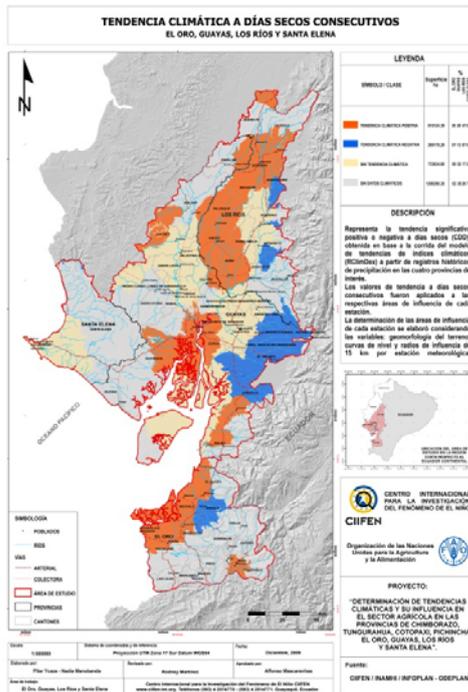
d)



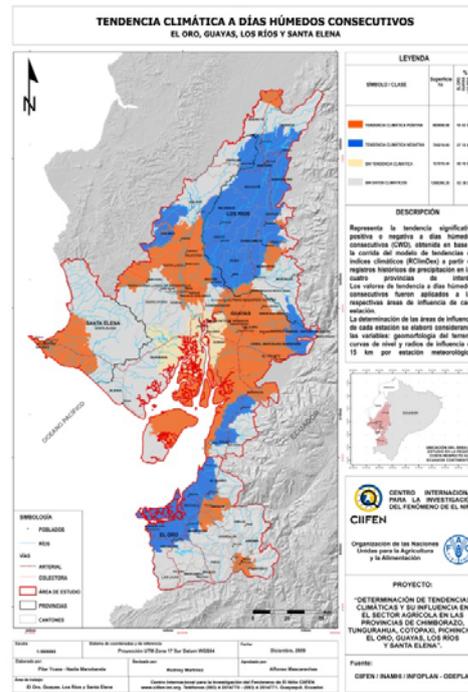
e)

Figura 8. Índices climáticos a) CDD, b) CWD, c) R99P, d) TXX) y e) TNN para el área de estudio en la región sierra. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

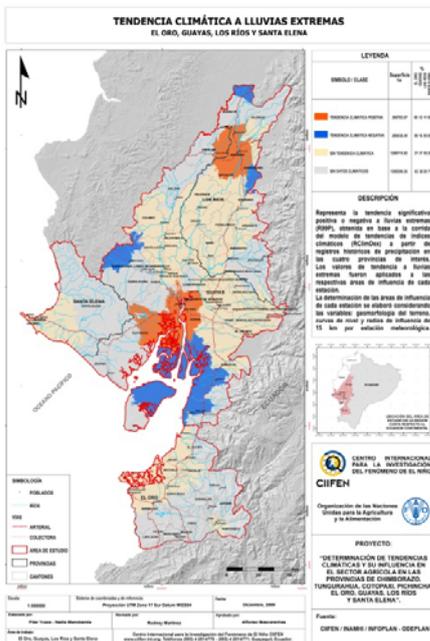
En la región costa la determinación de los radios de influencia para las estaciones, debido a la planicie costera permitieron obtener zonas climáticas homogéneas de mayor cobertura (Figura 9), en las cuales las tendencias CDD (días secos consecutivos), CWD (días húmedos), R99P (lluvias extremas), TXX (días cálidos) y TNN (noches frías) son representativas.



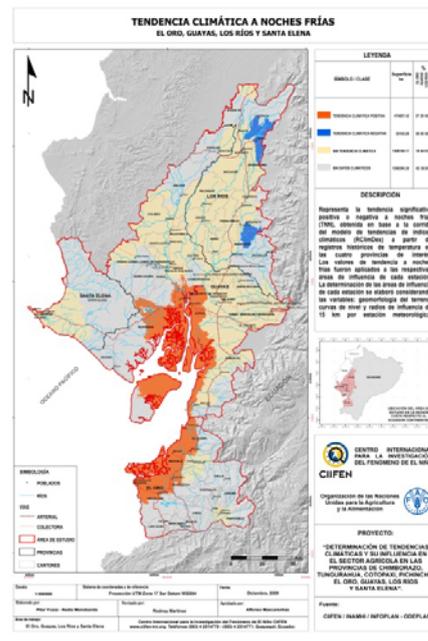
a)



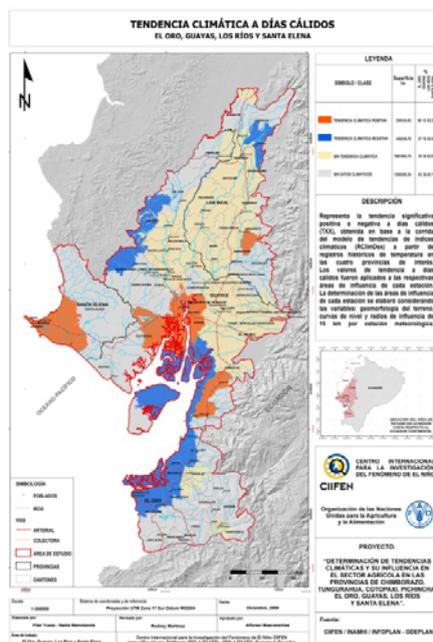
b)



c)



d)



e)

Figura 9. Índices climáticos a) CDD, b) CWD, c) R99P, d) TNN y e) TXX para el área de estudio en la región costa. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

9. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS AGRÍCOLAS

Para la identificación de las zonas agrícolas fue necesaria la obtención de información del uso actual del suelo que incluía cultivos en las áreas de estudio, se realizó el levantamiento de la información cartográfica de fuentes oficiales de las instituciones de Ecuador provenientes de bases de datos como, del Sistema de Información Geográfica Agropecuario (SIGAGRO) y la Oficina de Planificación Nacional (ODEPLAN, 2002) para la costa y sierra. La sistematización y análisis de datos permitieron la generación de capas de información sobre áreas agrícolas con información de las bases de datos. El procesamiento realizado se ilustra en el Figura 10.

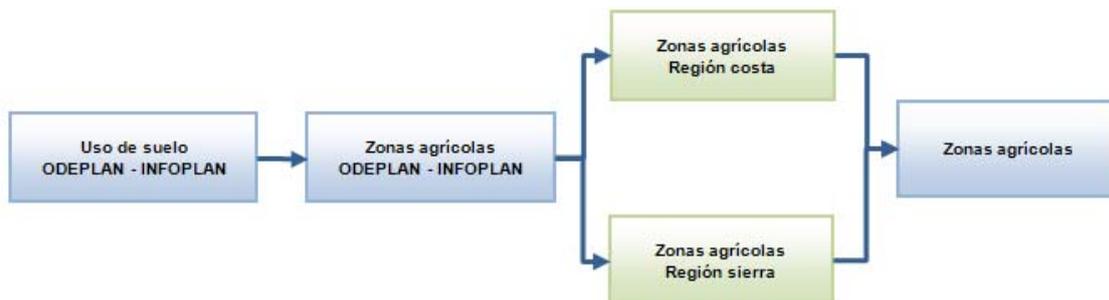


Figura 10. Esquema para la obtención de las zonas agrícolas. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Considerando el alcance del estudio, no se verificó en terreno ninguna información, asumiendo la confiabilidad que proporcionan los datos de fuentes oficiales. Se receptó información facilitada por FAO, en archivos formato digital.

Una vez recopilada y procesada la información, se procede a la identificación de zonas de cultivos en las áreas de interés. De la información recibida, se constataron los atributos de los cultivos que se indican en la Tabla 6.

CAPA	CAMPOS (ATRIBUTOS)	FUENTE	TIPO
USO DE SUELO			
<i>Provincias: El Oro, Guayas, Los Ríos y Santa Elena</i>			
Cultivos de Banano	Uso de suelo	Bases de datos ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos Caña de Azúcar	Uso de suelo	Bases de datos ODEPLAN - INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos Indiferenciados	Uso de suelo	Bases de datos ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Ciclo Corto	Uso de suelo	Bases de datos ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Maíz	Uso de suelo	Bases de datos ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Arroz	Uso de suelo	Bases de datos ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Cacao	Uso de suelo	Bases de datos ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Palma Africana	Uso de suelo	Bases de datos ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos Frutales	Uso de suelo	Bases de datos ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono

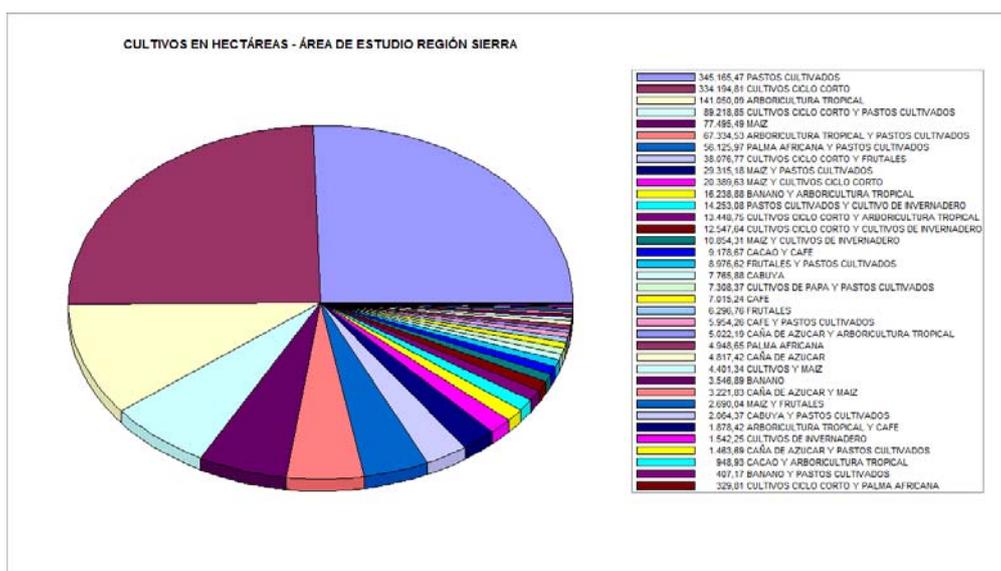
Provincias: Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi y Pichincha

Cultivos Indiferenciados	Uso de suelo	Bases de datos	ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Arroz	Uso de suelo	Bases de datos	ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Banano	Uso de suelo	Bases de datos	ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Cacao	Uso de suelo	Bases de datos	ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Café	Uso de suelo	Bases de datos	ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Palma Africana	Uso de suelo	Bases de datos	ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Pastos Plantados	Uso de suelo	Bases de datos	ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Caña de Azúcar	Uso de suelo	Bases de datos	ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Ciclo Corto	Uso de suelo	Bases de datos	ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Cultivos de Maíz	Uso de suelo	Bases de datos	ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono
Frutales	Uso de suelo	Bases de datos	ODEPLAN – INFOPLAN	Vector-Polígono

Tabla 7. Capas de información de uso de suelo consideradas para el estudio. Proyecto: “Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola”. CIIFEN-FAO 2009

Desde el punto de vista de la metodología seguida en este estudio, las zonas agrícolas obtenidas con la información provista, representan las “áreas expuestas” en la estimación de riesgos y vulnerabilidad.

Los cultivos identificados en la información de uso de suelo cuyas áreas conformarán las zonas agrícolas en el estudio, se muestran en la Figura 11 junto a la superficie por cultivo en hectáreas (ODEPLAN – INFOPLAN, 2002).



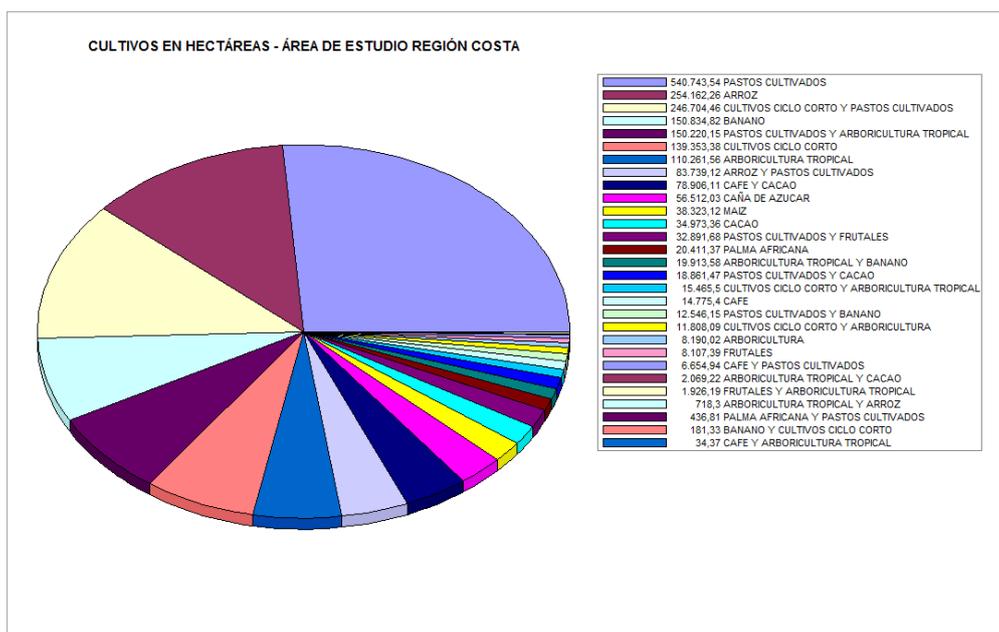


Figura 11. Cultivos registrados en las zonas agrícolas de las áreas de estudio en la región sierra y costa. "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Para el análisis del uso agrícola del suelo se hicieron las siguientes consideraciones:

- 1) Los cultivos identificados en las bases de datos como "pastos cultivados" para la región sierra hacen referencia a la alfalfa, quinua, trigo, etc.
- 2) En la región costa la mayor cantidad de producción agrícola se destina a la exportación.
- 3) En la región sierra la mayor cantidad de producción agrícola es destinada en su mayor parte al consumo interno.
- 4) La región costa tiene mayor infraestructura de protección y control de inundaciones e irrigación por lo que la dependencia de los factores climáticos es relativamente menor que en la sierra.
- 5) La región sierra tiene menor infraestructura de protección frente a eventos climáticos, menor capacidad de riego controlado y mayor dispersión espacial y tamaño de las zonas de cultivo. Su dependencia de los factores climáticos es significativamente mayor.

- 6) La región sierra tiene su mayor exposición a sequías y también a temperaturas extremas, siendo especialmente este último impacto en la mayoría de casos - muy severo (heladas y granizadas). Además los cultivos de la sierra están expuestos a los efectos de las erupciones volcánicas (flujos piroclásticos y la ceniza).
- 7) Uno de los mayores limitantes en la zona andina está relacionado con la escala espacial de la información disponible. La geomorfología y la fragmentación de los cultivos y su diversidad, no es fácilmente obtenible de la cartografía satelital o información de terreno disponible.

Las zonas agrícolas que se lograron identificar en el presente estudio se encuentran representadas en la Figura 12.

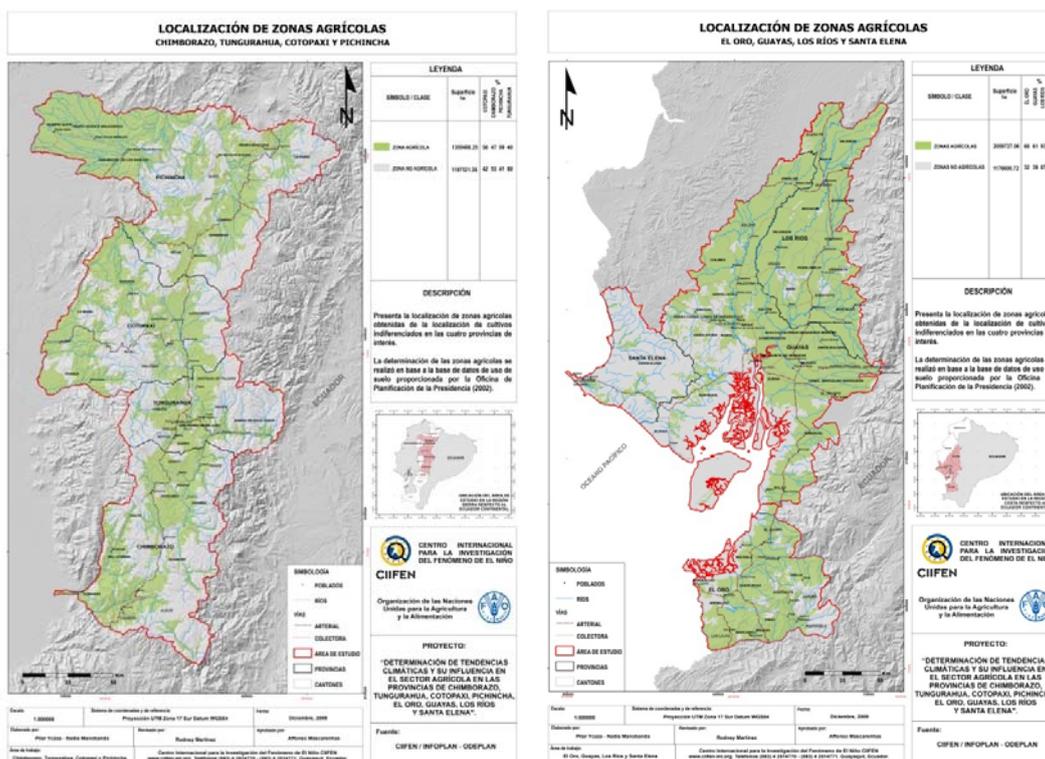
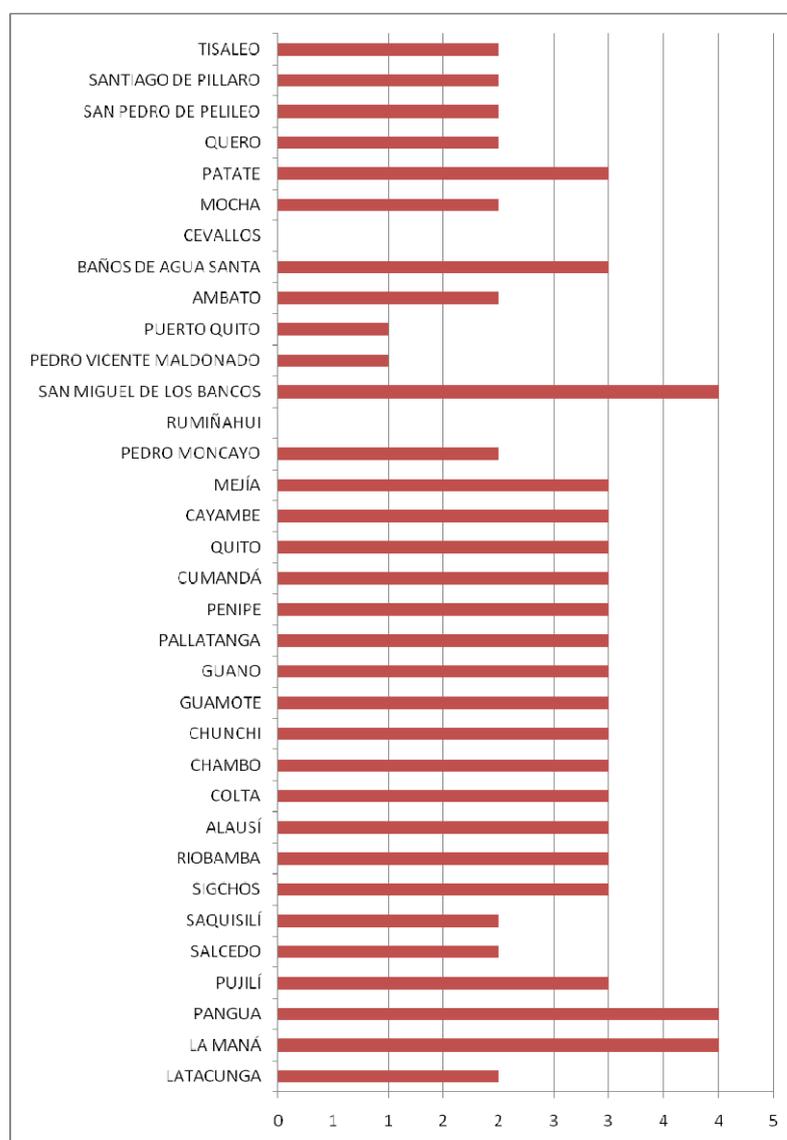


Figura 12. Zonas agrícolas en las áreas de estudio de la región sierra y costa. "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

10. SINIESTRALIDAD

Una vez identificadas las zonas agrícolas en las provincias del área de estudio se procedió a recopilar información secundaria que sirvió para la determinación de los niveles de exposición histórica o grados de siniestralidad basados en la valoración global de los eventos hidrometeorológicos⁴, relacionadas con inundaciones, deslizamientos/derrumbes y sequías a nivel cantonal. Esta información es asumida como un factor integrador de la interacción clima-territorio-población, que al final se traduce en impactos sociales y económicos asociados al clima. La siniestralidad, expresada en grados de afectación de eventos hidrometeorológicos dentro de límites cantonales en el área de estudio, se muestra en la Figura 13.

a)



b)

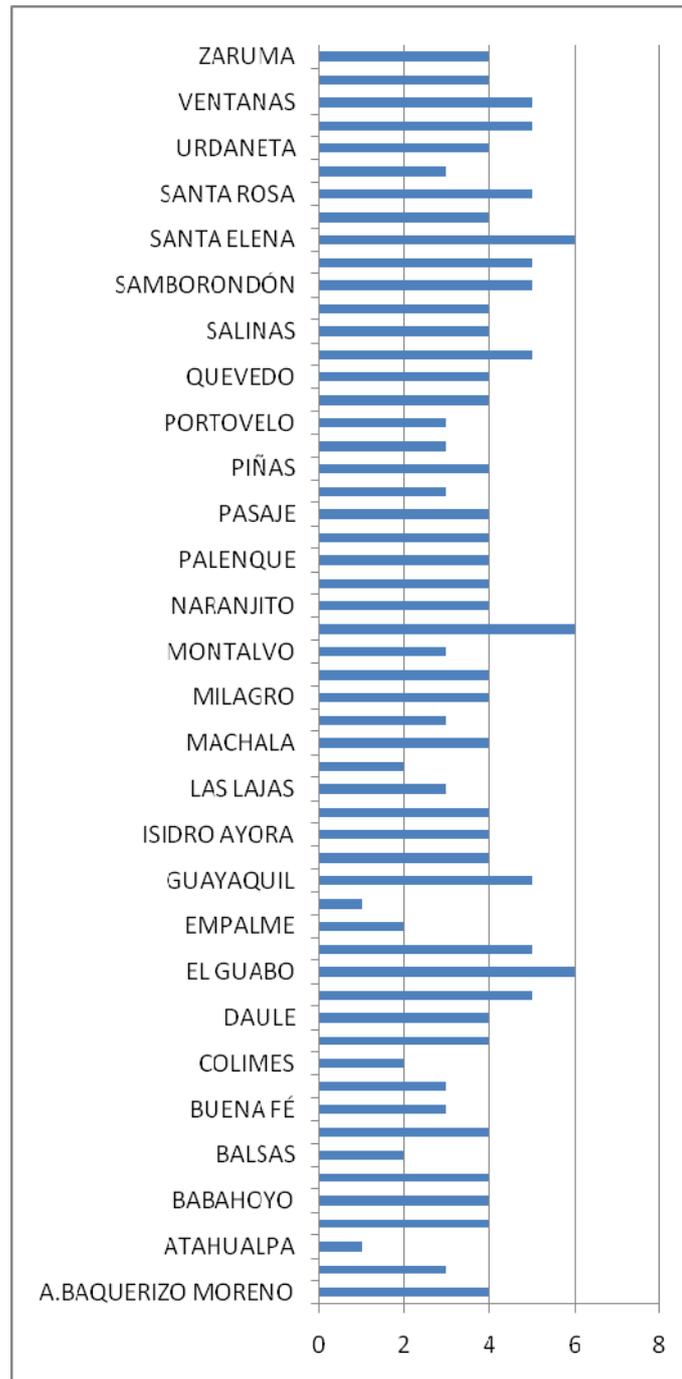


Figura 13. Siniestralidad de acuerdo evaluación cantonal en las áreas de estudio. a) Región Sierra y b) Región Costa. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Basándonos en la información generada por el estudio de “Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador”, realizado por COOPI, IRD, Oxfam, se generó un mapa de la valoración global de los eventos hidrometeorológicos, relacionados con inundaciones, deslizamientos-derrumbes y sequías, definimos la siniestralidad a nivel cantonal para el área de estudio tanto en la región sierra como en la región costa (Figura 14).

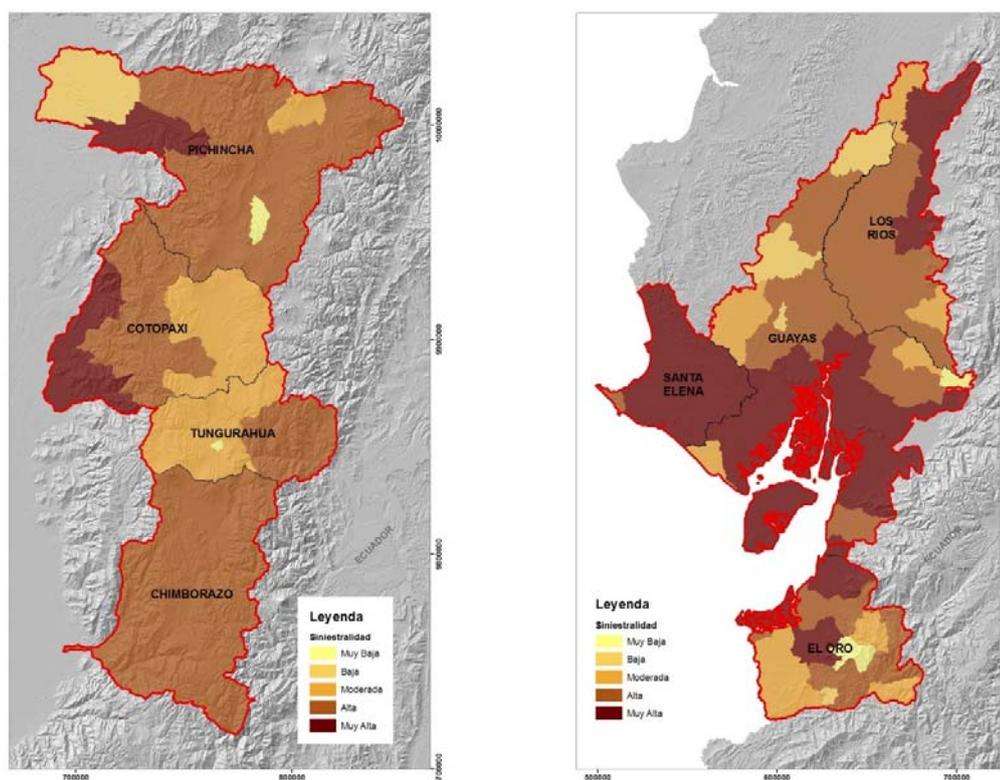


Figura 14. Siniestralidad del sector agrícola en relación a eventos climáticos en las áreas de estudio de la región sierra y costa. Proyecto: “Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola”. CIIFEN-FAO 2009

La siniestralidad derivada de la valoración global de los eventos hidrometeorológicos, compensa las limitaciones propias de los índices climáticos y su escasa cobertura espacial en la estimación del riesgo climático para las zonas agrícolas.

11. **ÍNDICE DE POBREZA POR NECESIDADES BÁSICAS INSATISFECHAS**

Los factores internos del riesgo de la actividad agrícola frente a la acción del clima y su potencial cambio y variabilidad son varios. Sin embargo no todas las variables que influyen en esta condición han sido medidas y peor aún georreferenciadas de tal manera que no se pueda obtener una visión espacial de esta componente del riesgo.

Considerando el alcance de este estudio y la información disponible para el país, se considera como un indicador de la vulnerabilidad socio-económica al índice de pobreza por necesidades básicas insatisfechas. Las razones conceptuales para esta aproximación son:

- 1) El índice representa en buena forma las escasas alternativas para diversificar los medios de vida y consecuentemente las limitaciones inherentes a la pobreza para adoptar acciones de protección o amortiguación de la acción climática.
- 2) El índice representa la baja prioridad que por la condición de pobreza se presta al ambiente circundante y su degradación. Esto resta resiliencia a los campos agrícolas de subsistencia.
- 3) El índice representa en buena forma, la carencia de acceso a servicios básicos y especialmente al agua, lo que limita aún más la capacidad de manejo de eventos climáticos.
- 4) El índice representa en buena forma el limitado acceso a la educación, fuentes de información o conocimiento que le permita manejar con mejor solvencia el impacto del clima en el presente y a futuro.

El índice está disponible con información relativamente actualizada a nivel parroquial. Fue obtenido de la base de datos del SIISE 4.5 en base al censo del año 2001.

Para la representación espacial de este índice se realiza el vínculo respectivo de las estadísticas con la división parroquial de INEC (2008). La capa de información obtenida se muestra en la Figura 15.

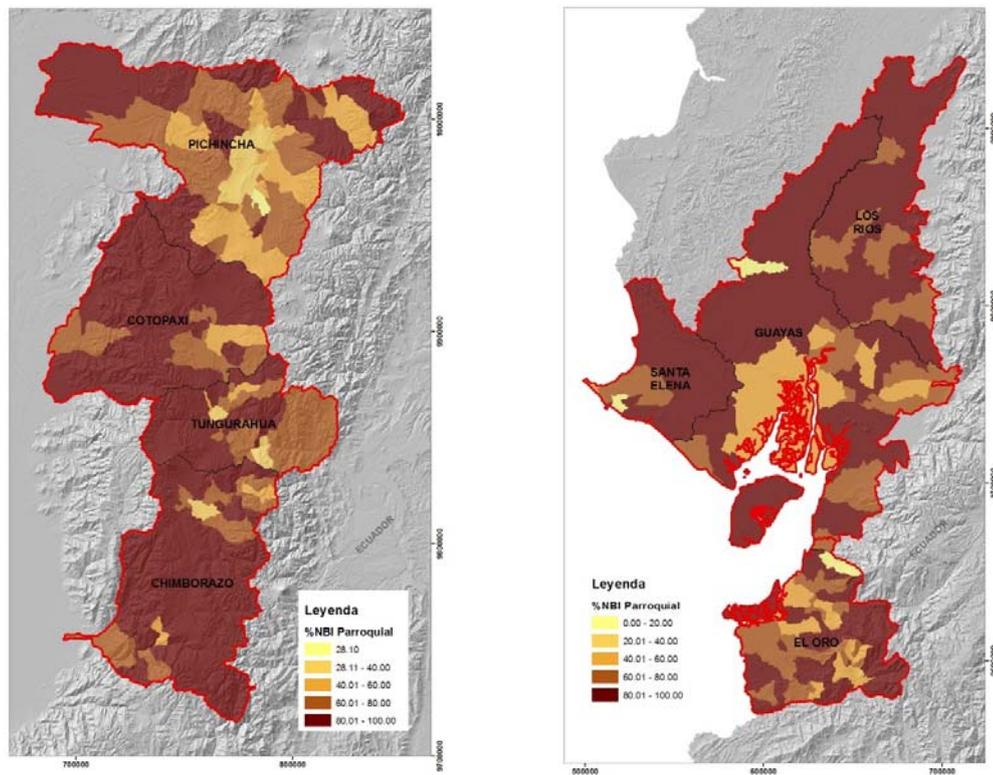


Figura 15. Índice parroquial de pobreza por necesidades básicas insatisfechas (NBI) en las áreas de estudio de la región sierra y costa. "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

12. ESTIMACIÓN DEL RIESGO CLIMÁTICO EN ZONAS AGRÍCOLAS

La recopilación de información climática histórica estimada a manera de índices de cambio climático, permitió tener un cálculo de la amenaza climática que representa el potencial cambio o amplificación de los eventos climáticos en el futuro próximo (índices de cambio climático en áreas de influencia).

Las áreas expuestas a la acción del clima fueron definidas a partir del análisis de uso de suelo en base a información cartográfica existente, lo que permitió definir las superficies de uso agrícola en el área de estudio.

Los niveles de vulnerabilidad fueron aproximados a través de los datos de siniestralidad estimada a nivel cantonal con su valoración global de los eventos hidrometeorológicos en el área de estudio más el índice de pobreza por necesidades insatisfechas a nivel parroquial.

El procesamiento de las variables se describe a continuación:

Determinación de amenazas

El proceso de determinación de amenazas partió de la normalización de los valores de los diferentes índices de tendencia climática. Considerando que los máximos valores absolutos de los índices (extremos de los índices, sean en positivo o negativo) estadísticamente significativos, constituyen amenazas climáticas, sus valores fueron normalizados de acuerdo a la fórmula [5]:

$$(\text{número que corresponda}) \{ (\text{valor del índice}) / \text{máximo} \}. \text{abs [5]}$$

De esta forma se obtuvieron valores de las amenazas introducidas para cada nivel de cada índice, representadas por sus valores absolutos.

Con los datos normalizados, las amenazas fueron entonces determinadas mediante la suma ponderada de los diferentes índices de tendencias, sobre un total de diez.

Determinación de la vulnerabilidad

Para la determinación de la vulnerabilidad se consideró la siniestralidad y el índice de pobreza por necesidades básicas insatisfechas como indicadores de la relación $\text{exposición} * \text{susceptibilidad} / \text{resiliencia}$. Ambos valores se ponderaron sobre cinco y se multiplicaron para obtener la vulnerabilidad.

Determinación del riesgo

La determinación del riesgo se realizó mediante la aplicación de la fórmula general del riesgo [1], aplicando las ponderaciones respectivas [4]. El flujo de las variables se muestra en la Figura 16.

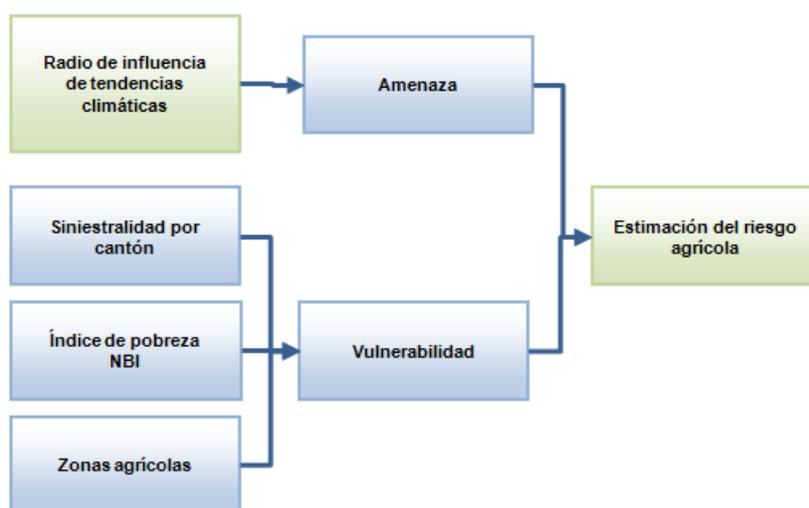


Figura 16. Esquema para la obtención de la estimación del riesgo agrícola. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Para representar los resultados de estimación de riesgo del presente estudio, los valores se clasificaron por cuantiles y se categorizaron en siete niveles (Tabla 2). Posteriormente se procedió a elaborar los mapas respectivos.

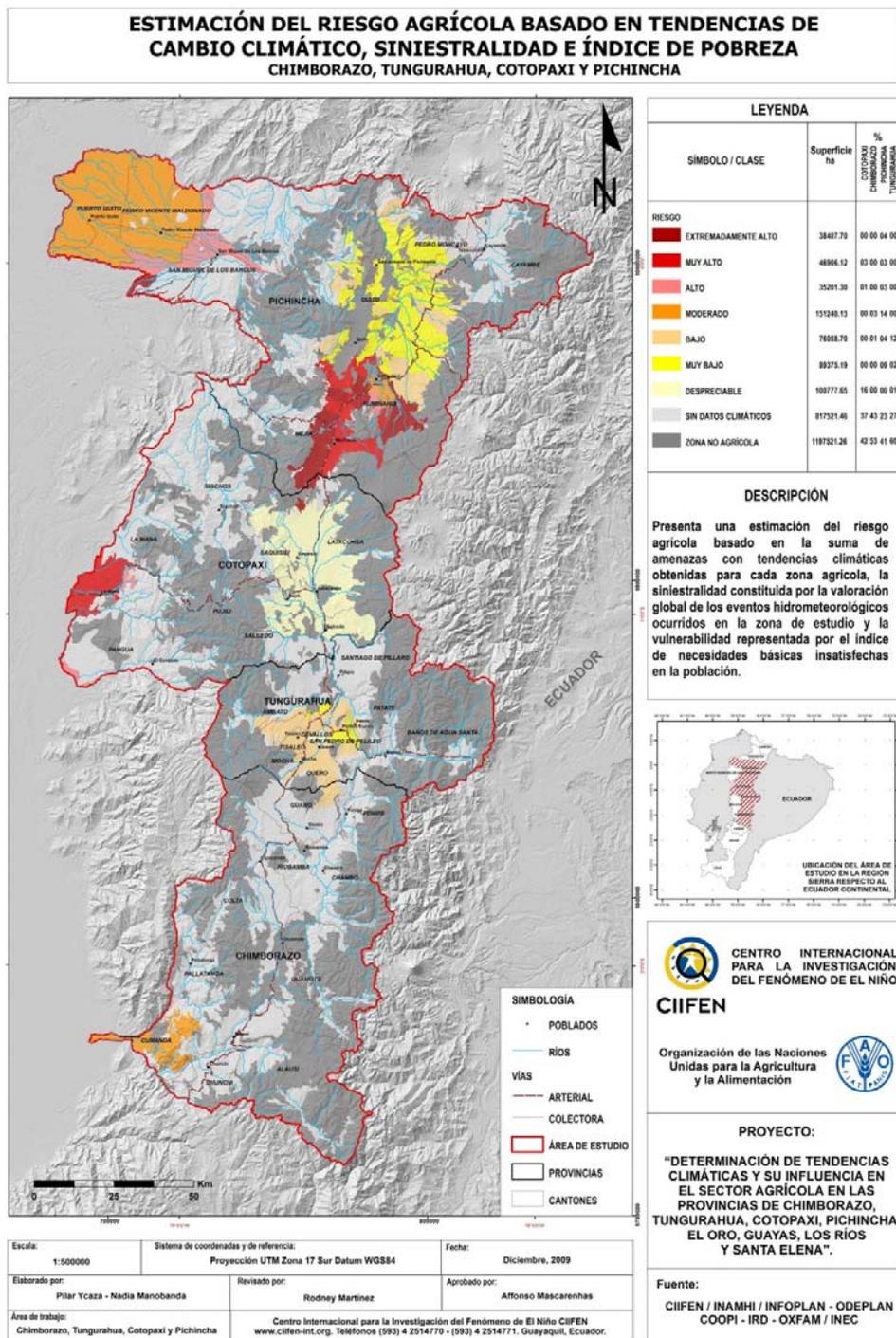


Figura 17. Estimación del Riesgo Agrícola basado en tendencias de cambio climático, siniestralidad e índice de pobreza en el área de estudio de la región Sierra. "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

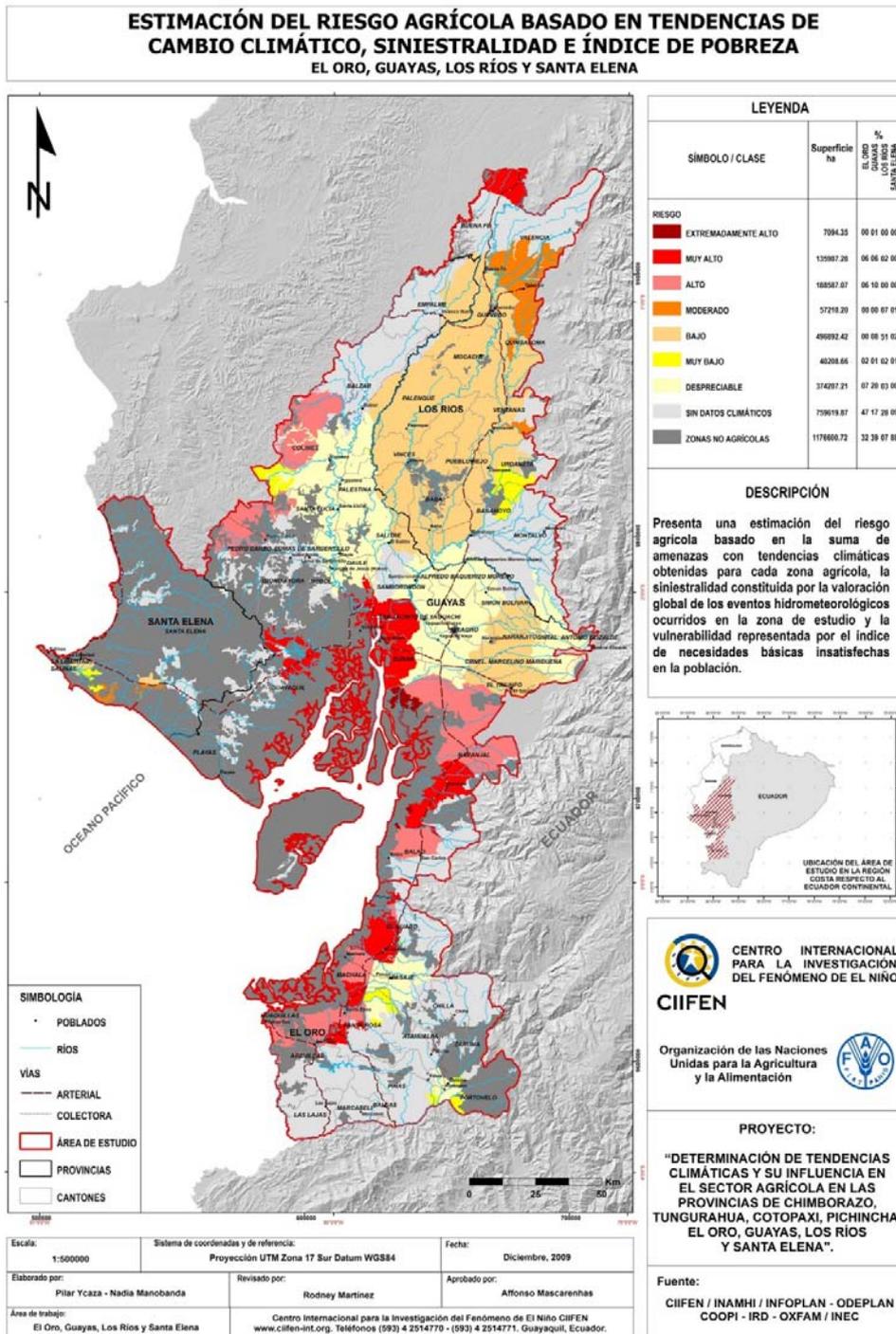


Figura 18. Estimación del Riesgo Agrícola basado en tendencias de cambio climático, siniestralidad e índice de pobreza en el área de estudio de la región Costa. "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

13. PRIORIZACIÓN DE ZONAS AGRÍCOLAS

En la siguiente tabla se resumen los resultados o priorización de zonas agrícolas en relación a los niveles de riesgos obtenidos:

Zonas Agrícolas		
Región Costa		
	Cantón	Niveles de Riesgo Agrícola
Los Ríos	Casi todos los cantones	Bajo
	Buena Fe - Norte	Zona norte - Muy alto
Guayas	Guayaquil	Zona central: Extremadamente alto Zona oeste: Muy alto
	Pedro Carbo	Zona norte: Alto
	Colimes	Zona noroeste: Alto
	Balzar	Zona suroeste: Alto
	Naranjal	Zona oeste: Extremadamente alto Zona central: Muy alto Zona norte: Alto
	Balao	Zona oeste: Extremadamente alto Zona centro: Alto
	El Oro	Arenillas
Machala	Zona norte: Alto Zona sur: Muy alto	
Santa Rosa	Zona oeste: Muy alto Zona norte: Alto	
Huaquillas	Casi toda: Alto	

	El Guabo	Zona oeste: Muy alto
Región Sierra		
Pichincha	Mejía	Zona centro este: Muy alto
		Zona central: Extremadamente alto
	Quito	Zona sur vecina a Rumiñahui: Extremadamente alto
	Rumiñahui	Zona centro-sur: Alto

Tabla 9. Zonas agrícolas de mayor riesgo frente a las tendencias de cambio climático en las áreas de estudio para la región sierra y costa. Proyecto: "Determinación de Tendencias Climáticas y su Influencia en el Sector Agrícola". CIIFEN-FAO 2009

Región costa

Del análisis realizado en términos generales, las zonas agrícolas que presentan los mayores riesgos en la costa, se localizan básicamente en el sur-este de la provincia del Guayas y nor-oeste de la provincia de El Oro, especialmente en área aledañas al pie de monte.

El área de estudio en la zona costera, debido a su planicie, permitió tener mayor cobertura de información que la región sierra. Se pudo contar con un mayor número de estaciones meteorológicas, de excelente calidad, por otro lado su radio de influencia al tener una orografía poco accidentada y mayoritariamente plana es muchísimo mayor en la costa con lo que la caracterización de los índices tuvo mayor cobertura. En la costa de igual forma la identificación del uso de suelo agrícola implicó menor complejidad por lo extensivo de los cultivos, grado de permanencia y su fácil ubicación. Todos estos factores le confieren a los resultados mayor confiabilidad y consistencia. Las zonas con riesgo determinadas, responden por un lado a la complejidad climática que viene con la altitud y la tendencia de cambio estimado y además por la siniestralidad propia en tierras altas. El alto nivel de riesgo de la provincia del Guayas, es muy consistente con el intensivo uso de suelo y por otro lado la concentración de pobreza en esta zona del país. A esto se suma los crecientes procesos de urbanización, intervención en las cuencas y otros factores que exacerban el riesgo climático.

Región sierra

Del análisis realizado en términos generales, el riesgo agrícola frente a las tendencias de cambio climático en el área de estudio de la región sierra presenta

los mayores niveles de riesgo en la parte sur y oeste de Pichincha y al oeste de Cotopaxi en la zona de La Maná.

El análisis realizado en este estudio para la región sierra, muestra importantes diferencias. En primer término la limitada información climática disponible para la sierra. Las estaciones meteorológicas que se pudieron usar, no son suficientes para cubrir toda el área de estudio, por lo que la obtención de resultados con tendencias climáticas en estas zonas simplemente es muy limitada, al igual que su potencial impacto agrícola. Sin embargo en las zonas en las que se pudo utilizar la información climática disponible, los resultados son muy interesantes. Mientras la zona central de la provincia de Cotopaxi no registra riesgos potenciales al cambio climático, la provincia del Pichincha en buena parte de su superficie agrícola presenta riesgos al cambio climático. En este caso, los resultados sugieren la confluencia de dos posibles factores, por un lado el factor climático exacerbado por mayores cambios de uso de suelo, deforestación y procesos de urbanización y por otro la concentración de la población y consecuentemente la pobreza en la zona rural. En las provincias del Tungurahua y Chimborazo se limita el análisis por la insuficiente información disponible.

14. Conclusiones

- a. La determinación de tendencias climáticas para estimar su influencia en el sector agrícola demuestra ser una aproximación importante para establecer acciones de adaptación al cambio climático sobre la base de información de calidad y obtenida en el terreno, lo cual disminuye la incertidumbre propia de los resultados de los modelos globales que a veces erróneamente se aplican a nivel local.
- b. Mientras en la región costa, la mejor aproximación por calidad, disponibilidad y representatividad de la información climática, dada principalmente por su orografía, permite analizar en mejor forma el área de estudio; en la región sierra, la falta de densificación de la información climática acorde a las irregularidades en su topografía, y a la carencia de información de uso de suelo con mayor resolución espacial y temporal (acordes al tamaño de los cultivos y a su rotación) dificulta el análisis llegando incluso a imposibilitar un primer resultado en provincias como Chimborazo y Tungurahua.
- c. El estudio sugiere un mayor riesgo al cambio climático en las zonas agrícolas del pie de cordillera en la costa ecuatoriana, buena parte de la provincia del Guayas y en la sierra la provincia del Pichincha.

- d. Los resultados obtenidos muestran tanto para la costa y especialmente en la sierra las marcadas diferencias de lo que se puede inferir a partir de proyecciones a gran escala cuya aplicabilidad especialmente en la zona andina es muy limitada y los resultados de un análisis local.
- e. El presente estudio es la primera aproximación lograda a este nivel de resolución con aplicación en el sector agrícola especialmente en la zona andina.
- f. El estudio permitió evidenciar, las deficiencias actuales en cuanto a las redes de observación climática, especialmente en su cobertura en la región interandina y la necesidad de un post procesamiento en donde se contemplen procedimientos de control de calidad.
- g. La información satelital, cartográfica y de campo que permita entender razonablemente la vulnerabilidad agrícola en el sector rural frente al clima, especialmente en las provincias de la sierra central, está dispersa, no accesible o quizás no existe. La ausencia de datos sistematizados, por cultivo, por región y por grado de afectación por evento climático, complica el entendimiento actual de la relación del sector agrícola andino con la variabilidad climática de esta zona. El escaso entendimiento de esta relación complica aún más el poder efectuar una proyección de cambio climático, aún cuando se pudiera tener una aceptable idea de lo que las tendencias pueden mostrar en donde es posible.
- h. La aproximación seguida en este estudio, demostró ser consistente en los lugares donde la información estuvo disponible y su calidad fue aceptable. El cambio climático al igual que el riesgo inherente en el sector agrícola es completamente dinámico por lo que las proyecciones son permanentemente actualizadas en base a las estimaciones a partir del clima presente. El monitoreo climático es una necesidad prioritaria en la región interandina cuyos beneficios no se limitan al sector agrícola, sino al de recursos hídricos, energético y ambiental entre otros. Si este monitoreo no va compaginado con la observación del territorio con alta resolución espacial y esto a su vez no es correlacionado con los patrones sociales, económicos y culturales que también son dinámicos, se estaría perdiendo la posibilidad de emprender en una real y efectiva gestión de riesgo climático y poder lograr una adaptación factible al cambio climático.
- i. Los resultados de este estudio deberán manejarse con un grado del 60% de confiabilidad como un nivel de margen seguro.

15. **Recomendaciones**

- a. Replicar este análisis con la mayor cantidad de estaciones meteorológicas públicas y privadas existentes en la región andina del país.
- b. Asegurar con el apoyo de los organismos internacionales y del Gobierno del Ecuador, la mayor cantidad de información cartográfica, socio-económica y agrícola para poder afinar y complementar los resultados de este estudio.
- c. Promover esta metodología para que pueda ser aplicada a nivel nacional.
- d. Exponer al Gobierno central, las desventajas de tener una red de observación climática deficiente y argumentar la necesidad de retroalimentarlas con estaciones modernas y transmisión automática en tiempo real, previo un estudio que proponga la ubicación más eficaz de las mismas con el fin de ganar mayor representatividad en sus datos de las condiciones meteorológicas en zonas físicamente homogéneas.
- e. Promover en la empresa privada la inclusión de estaciones de su propiedad con grandes records de datos, en la red nacional, para coadyuvar al fortalecimiento de esta red y al mejoramiento de los servicios meteorológicos nacionales.
- f. Gestionar la disponibilidad de información agrícola en la región andina y su sistematización para que pueda ser accesible y permita efectuar los análisis requeridos para las evaluaciones y estimaciones de impacto en el sector agrícola, tanto para el futuro inmediato y como para el mediano.
- g. Gestionar la obtención de imágenes satelitales y fotografías aéreas de alta resolución, acompañadas de reconocimiento de campo que permitan inventariar los recursos en el territorio y su variación en el tiempo.
- h. Actualizar el censo agrícola a nivel nacional incluyendo variables específicas inherentes al cambio climático y su impacto sectorial.
- i. Considerar obtener información clave y de utilidad para este tipo de estudios en el Censo INEC 2010 y la cartografía de la cuenca del Guayas que está elaborando el CLIRSEN a escala 1:25.000, información que ayudaría a mejorar la resolución de este estudio.

16. **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. CADENA, M., (2000) et al. Análisis de los resultados del III Censo Nacional Agropecuario. Consejo consultivo de la papa. Proyecto SICA.
2. CIIFEN- INAMHI. Convenio SARE-CAM. Memoria Técnica Información Climática de Amenazas Hidrometeorológicas en las provincias costeras del Ecuador. Guayaquil, Ec. Octubre, 2007.
3. CIIFEN, (2009) Guía Técnica para la Implementación de un Sistema Regional de Información Climática Aplicada a la Gestión de Riesgo Agrícola en los Países Andinos. Proyecto ATN/OC 10064-RG, BID.
4. COOPI, IRD &, OXFAM. “Amenazas, vulnerabilidad, capacidades y riesgo en el Ecuador”,
5. Garrett, K. A.. (2008). Climate change and plant disease risk. In *Global Climate Change and Extreme Weather Events: Understanding the Potential Contributions to the Emergence, Reemergence and Spread of Infectious Disease*. National Academy of Science, Institute of Medicine. In press.
6. IPCC: Cambio climático 2007; Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.
7. Karl, T.R., N. Nicholls, and A. Ghazi, 1999: CLIVAR/GCOS/WMO workshop on indices and indicators for climate extremes: Workshop summary. *Climatic Change*, 42, 3-7.
8. MARTÍNEZ, R., (Noviembre 2004) Hambre y Desigualdad en los Países Andinos; La desnutrición y la vulnerabilidad alimentaria en Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú. División de Desarrollo Social, CEPAL Naciones Unidas.
9. MARTÍNEZ, R., (2005) Hambre y Desigualdad en los Países Andinos; La desnutrición y la vulnerabilidad alimentaria en Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú. División de Desarrollo Social, CEPAL Naciones Unidas.

10. PACC-MAE: Estudio de vulnerabilidad actual a los riesgos climáticos en el sector de los recursos hídricos en las cuencas de los Ríos Paute, Jubones, Catamayo, Chone, Portoviejo y Babahoyo. Quito, Diciembre de 2009.
11. Peterson, T.C., and Coauthors: Report on the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs 1998-2001. WMO, Rep. WCDMP-47, WMO-TD 1071, Geneva, Switzerland, 143pp.
12. Peterson, T.C., 2005: Climate Change Indices. WMO Bulletin, 54 (2), 83-86., ver referencia completa:
http://www.wmo.ch/pages/prog/wcp/ccl/guide/guide.2e_en.html .
13. PERALTA, Eduardo. Boletín informativo N° 175 INIAP. Estación Experimental Santa Catalina. Ec., 1985.
14. PNUD- GEF. Prioridades sobre Cambio Climático en Ecuador. Quito, EC. Diciembre, 2001.
15. RCLimDex (1.0). Manual del Usuario, Xuebin Zhang y Feng Yang,. Climate Research Branch, Environment Canada Downsview, Ontario Canada, 2004.
16. SICA: Base de Datos CNA. Tercer Censo Nacional Agropecuario. Cultivos por provincias en Ecuador. Ec., 2000.
17. Vis, Marinus 1991. Processes and patterns of erosion in natural and disturbed Andean forest ecosystems. Amsterdam : Koninklijk Nederlands Aardrijkskundig Genootschap.
18. Wilches, G. (2004), ¿Qu-ENOS Pasa?, Guía de La Red para la Gestión Radical de Los Riesgos Asociados con el Fenómeno ENOS. LA RED. La traducción en español y la validación de la Terminología de UNISDR 2009 fue convocada por la UNISDR Panamá, 2009.