



CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA
ESCUELA DE POSGRADO

Influencia de la variabilidad climática sobre la producción de café (*Coffea arabica L.*) en Honduras

por

José Andrés Altamirano Tinoco

Tesis sometida a consideración de la Escuela de Posgrado
como requisito para optar por el grado de

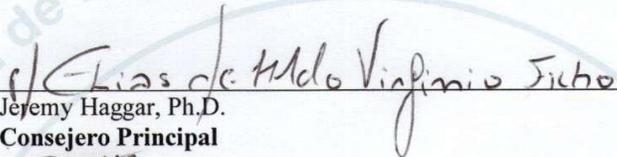
Magister Scientiae en Agroforestería Tropical

Turrialba, Costa Rica, 2012

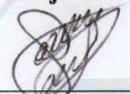
Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del Estudiante como requisito parcial para optar por el grado de:

MAGISTER SCIENTIAE EN AGROFORESTERÍA TROPICAL

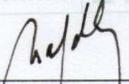
FIRMANTES:



Jeremy Hagggar, Ph.D.
Consejero Principal

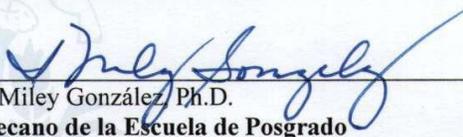


Fernando Casanoves, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

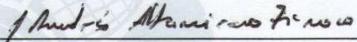


Bruno Rapidel, Ph.D.
Miembro Comité Consejero

Juan Robalino, Ph.D.
Miembro Comité Consejero



I. Miley González, Ph.D.
Decano de la Escuela de Posgrado



José Andrés Altamirano Tinoco
Candidato

DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres Andrés de Jesús Altamirano Altamirano y Catalina del Rosario Tinoco R.

A mis hermanos Andrés, Catalina, Miguel y María.

A mis sobrinos Roberto, Gabriela y Ramiro.

A mi segunda madre Bernarda Tinoco Rivera.

A mi abuelo Miguel Ángel Altamirano Sequeira agricultor y pequeño productor de café.

A los productores de café.

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A los productores de café.

A la familia CATIE y proyecto de Innovación en cadenas de valor sostenible de café por la disposición otorgada para la realización de mis estudios.

Al personal de la escuela de Posgrado.

Al personal de la biblioteca Orton.

A mi profesor consejero Dr. Jeremy Haggar.

Al comité asesor; Dr. Fernando Casanoves, Dr. Juan Robalino y Dr. Bruno Rapidel.

Al Ing.M.Sc. Carlos Viera y a la Ing. MSc. Mirna Barrios.

A los colaboradores Sergio Vilchez y Catalina Sandoval.

A Miguel Altamirano Tinoco, Erick Leiva, Abner Martínez por sus valiosos aportes y consejos.

A mis compañeros y amigos de maestría Flor Rodriguez, Nelson Pérez, Ditter Mosquera y Francisco García.

A los amigos con quienes compartí buenos momentos; Héctor (El Tigre), Ricky Babilonia, Walker Gonzalez, Carlos Salas, Karime Montes, Carolina Polania, Fran Garro y Boris Arévalo.

A Silvia Viera del departamento de Hidrología y Climatología del SERNA en Honduras.

A Silvia Pérez y Andrea Orellana por su aporte en información.

CONTENIDO

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|
| DEDICATORIA | III |
| AGRADECIMIENTOS | IV |
| CONTENIDO | V |
| RESUMEN | VIII |
| SUMMARY | X |
| ÍNDICE DE CUADROS | XII |
| ÍNDICE DE FIGURAS | XIV |
| LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS..... | XV |
| 1 INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1 Objetivos del estudio | 4 |
| 1.1.1 <i>Objetivo general</i> | 4 |
| 1.1.2 <i>Objetivos específicos</i> | 4 |
| 1.2 Preguntas de investigación..... | 5 |
| 2 MARCO CONCEPTUAL | 6 |
| 2.1 Cambio climático..... | 6 |
| 2.2 Variabilidad climática..... | 8 |
| 2.2.1 <i>Índice Oceanográfico del Niño (ONI)</i> | 9 |
| 2.2.2 <i>Fenómenos climáticos extremos en Honduras</i> | 10 |
| 2.3 Cambio climático y su impacto en la producción de café | 11 |
| 2.4 Descripción de los productores de café en Honduras | 15 |
| 2.5 El Clima en Honduras..... | 16 |
| 2.6 Fenología del cultivo de café | 18 |
| 2.7 Valores apropiados de temperatura y precipitación para el cultivo de café | 21 |
| 2.8 Efectos negativos de la temperatura y precipitación en el cultivo de café | 23 |
| 2.9 Bianualidad en la producción de café | 26 |
| 3 MATERIALES Y MÉTODOS | 27 |
| 3.1 Nivel de departamentos | 27 |
| 3.1.1 <i>Fuentes de la información a nivel de departamentos</i> | 28 |
| 3.1.1.1 Datos meteorológicos de precipitaciones y temperatura | 28 |
| 3.1.1.2 Datos de producción y área de café..... | 31 |

| | | |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.2 | Nivel de productores de café | 32 |
| 3.2.1 | <i>Productores de café ciclo de cosecha 2005-2006 al 2009-2010</i> | 33 |
| 3.2.2 | <i>Productores de café ciclo de cosecha 2003-2004 al 2009-2010</i> | 34 |
| 3.2.3 | <i>Fuentes de la información meteorológica para análisis a nivel de productores de El Paraíso</i> | 35 |
| 3.3 | Variables utilizadas en el estudio..... | 35 |
| 3.3.1 | <i>Variable dependiente</i> | 35 |
| 3.3.2 | <i>Variables independientes</i> | 35 |
| 3.3.2.1 | Variables exógenas..... | 36 |
| 3.3.2.2 | Variables endógenas..... | 37 |
| 3.3.2.2.1 | Aplicación de fertilizantes convencional | 38 |
| 3.3.2.2.2 | Poda sanitaria | 38 |
| 3.3.2.2.3 | Regulación de sombra en cafetales | 38 |
| 3.4 | Análisis estadístico | 38 |
| 3.4.1 | <i>Modelos econométricos de regresión múltiples para datos de panel</i> | 38 |
| 3.4.2 | <i>Análisis de correlación lineal de Pearson</i> | 40 |
| 3.5 | Software utilizado para el análisis de los datos | 41 |
| 4 | RESULTADOS | 42 |
| 4.1 | Nivel de departamentos | 42 |
| 4.1.1 | <i>Precipitación, temperatura y productividad</i> | 42 |
| 4.1.2 | <i>Efecto de la temperatura y precipitación anual sobre la productividad</i> | 46 |
| 4.1.3 | <i>Efecto de la temperatura y precipitación que se dan en las etapas fenológicas sobre la productividad</i> | 47 |
| 4.1.4 | <i>Correlación entre la precipitación anual y precipitación registrada en las diferentes etapas fenológicas del café con la productividad</i> | 48 |
| 4.1.5 | <i>Correlación entre la temperatura anual y temperatura registrada en las diferentes etapas fenológicas del café con la productividad</i> | 49 |
| 4.2 | Nivel de productores de El Paraíso 2005-2009 | 50 |
| 4.2.1 | <i>Productividad, precipitación y temperatura registrada a nivel de productores de El Paraíso 2005-2009</i> | 50 |
| 4.2.2 | <i>Efecto de la precipitación anual y manejo del café sobre la productividad</i> | 50 |

| | | |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2.3 | <i>Efectos de la precipitación registrada en las etapas fenológicas del cultivo y manejo del café sobre la productividad.....</i> | 51 |
| 4.3 | Nivel de productores de El Paraíso 2003-2009 | 52 |
| 4.3.1 | <i>Productividad, precipitación y temperatura registrada a nivel de productores de El Paraíso 2003-2009.....</i> | 52 |
| 4.3.2 | <i>Efecto de la precipitación anual sobre la productividad</i> | 53 |
| 4.3.3 | <i>Efecto de la precipitación registrada en las diferentes etapas fenológicas del cultivo sobre la productividad.....</i> | 54 |
| 5 | DISCUSIÓN | 55 |
| 5.1 | Nivel departamento..... | 55 |
| 5.1.1 | <i>Efecto de la temperatura y precipitación anual sobre la productividad.....</i> | 55 |
| 5.1.2 | <i>Efecto de la temperatura y precipitación que se presentaron en las diferentes etapas fenológicas del cultivo sobre la productividad</i> | 58 |
| 5.2 | Nivel de productores de El Paraíso del 2005-2009..... | 59 |
| 5.3 | Nivel de productores de El Paraíso 2003-2009 | 60 |
| 6 | CONCLUSIONES | 62 |
| 7 | RECOMENDACIONES..... | 63 |
| 8 | BIBLIOGRAFÍA | 66 |
| 9 | ANEXOS | 75 |

RESUMEN

Altamirano Tinoco, JA. 2012. Influencia de la variabilidad climática sobre la producción de café (*Coffea arabica* L.) en Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 108 p.

Palabras claves: *Coffea arabica* L., cambio climático, variabilidad climática, temperatura, precipitación, producción de café, pequeños productores de café, Honduras.

La presente investigación se orientó en determinar el efecto de las variables climáticas; precipitación anual, temperatura media anual, temperatura y precipitación registrada en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de café, y manejos de pre cosecha¹ sobre la productividad de café. La investigación se realizó a nivel de departamentos y productores de café. A nivel de departamento se utilizaron datos de 10 ciclos de cosecha de café (1999-2000 al ciclo 2008-2009) tomando en cuenta 11 departamentos para determinar el efecto de las variables climáticas sobre la productividad de café. A nivel de productores se utilizaron datos de las cooperativas COMICAOL y COMIPIL ubicadas en el departamento de El Paraíso, en este nivel se analizaron datos de dos series de tiempo, una de siete ciclos de cosecha de café (2003-2004 al ciclo 2009-2010) en donde se evaluó el efecto de las variables climáticas sobre la productividad de café y otra de cinco ciclos de cosecha (2005-2006 al ciclo 2009-2010) en donde se evaluó el efecto de las variables climáticas y de manejo de pre cosecha sobre la productividad de café.

A nivel de departamentos los cambios registrados de la precipitación anual y las registradas en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de café de 1999 al año 2008 no presentaron efecto significativo con la productividad de café, sin embargo las temperaturas anuales presentaron efecto significativo ($p=0.011$) con la productividad con coeficiente positivo de 61.33. En relación a las temperaturas registradas en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de café, se presentó efecto significativo ($p=0.022$) de la temperatura

¹ Prácticas de manejo en el cultivo de café que se realizan antes de la cosecha (fertilización, poda sanitaria y regulacion de sombra)

registrada en la etapa de llenado del grano sobre la productividad con coeficiente positivo de 87.04, en las temperaturas registradas en la etapa de prefloración-floración y maduración del grano no presentaron efecto significativo.

A nivel de productores ciclo de cosecha 2005-2006 al ciclo 2009-2010 en el Departamento de El Paraíso no se presentaron efectos de las variables climáticas sobre la productividad de café. De los manejos pre cosecha en café la aplicación de fertilizante convencional presentó efecto significativo ($p=0.044$) en la productividad de café con coeficiente de 0.38, el resto de manejos no presentaron efecto significativo.

A nivel de productores ciclo de cosecha 2003-2004 al ciclo 2009-2010 se presentó efecto significativo ($p=0.034$) de la precipitación anual sobre la productividad de café con coeficiente positivo de 0.10. En relación de la precipitación registrada en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de café, la precipitación registrada en la etapa de llenado del grano presentó efecto significativo ($p=0.012$) sobre la productividad de café con coeficiente positivo de 0.18. A nivel de productores no se tomó en cuenta la variable temperatura por no contar con estaciones con datos completos cerca de la zona en estudio.

SUMMARY

Altamirano Tinoco, JA. 2012. Influence of climate variability on coffee (*Coffea arabica L.*) grain yield in Honduras. Thesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 108 p.

Key words: *Coffea arabica L.*, climate change, climate variability, temperature, precipitation, small coffee farmers. coffee yield, Honduras.

The research objective was to determinate the effect of the climate variables: annual rainfall, average annual temperature, temperature and precipitation; recorded against the different coffee phenology stages; and with pre-harvest management practices on coffee grain yield. The research took in consideration the country's different departments and small coffee producers. Data from 10 cycles of coffee harvest (1999-2000 to cycle 2008-2009) from 11 departments were used to evaluate the effect of climate variables on coffee grain yield. Regarding small coffee producers, data from COMICAOL and COMIPIL cooperatives from El Paraíso department were used. Two series of time were analyzed: first, seven cycles of coffee harvest (2003-2004 to cycle 2009-2010) to determinate the effect of the climate variables on coffee grain yield; second, five cycles of coffee harvest (2005-2006 to cycle 2009-2010) to evaluated the effect of climate variables and pre-harvest management practices (fertilization, sanitary pruning, shade regulation) on coffee yield.

Neither the variation in annual rainfall from 1999 - 2008 in the departments nor variation in rainfall by the phenology stages of the coffee crop presented significant effects on coffee grain yield. However, annual temperatures showed significant effect ($p=0.011$) with yield with a positive coefficient of 61.33. Regarding temperatures registered in the different phenology stages, the temperature registered in the grain filling stage showed significant effect ($p=0.022$) on yield with a positive coefficient of 87.04. Temperature at pre flowering, flowering and grain ripening, did not present significant effects.

As regards small-producers data for the cycle of harvest 2005-2006 to 2009-2010 in El Paraíso department, climate variables did not influence on coffee grain yield. The application of inorganic fertilizer before harvest showed significant effect ($p=0.044$) on yielding, with 0.38 coefficient. Other management practices did not show significant effect.

Annual rainfall had significant effect ($p=0.034$) on yield when time frame was extended from 2003-2004 to cycle 2009-2010 with positive coefficient of 0.10. The precipitation registered in the grain filling stage presented significant effect ($p=0.012$) on coffee yielding with positive coefficient of 0.18. The temperature variable was not evaluated due to most of the information being incomplete for this site.

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1. Índice Oceanográfico del Niño | 10 |
| Cuadro 2. Huracanes y tormentas tropicales de 1998 al 2009 registradas en Honduras | 11 |
| Cuadro 3. Cambios proyectados en actitud climática de cultivos, temperatura y precipitación en Mesoamérica para el 2050. | 12 |
| Cuadro 4. Estaciones meteorológicas seleccionadas para el nivel de departamentos | 28 |
| Cuadro 5. Número de productores por ciclo de cosecha (2005-2006 al 2009-2010) | 34 |
| Cuadro 6. Número de productores por ciclo de cosecha (2003-2004 al 2009-2010) | 34 |
| Cuadro 7. Estación meteorológica utilizada a nivel de productores de El Paraíso | 35 |
| Cuadro 8. Variables climáticas utilizadas en el estudio..... | 36 |
| Cuadro 9. Prácticas pre cosecha evaluadas en el estudio..... | 37 |
| Cuadro 10. Valor promedio de 10 años de datos de las variables producción, hectárea, productividad, precipitación y temperatura anual en los departamentos de Honduras..... | 42 |
| Cuadro 11. Productividad (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) registrada en los departamentos seleccionados..... | 43 |
| Cuadro 12. Temperatura anual registrada en los departamentos | 44 |
| Cuadro 13. Precipitación anual registrada en los departamentos | 45 |
| Cuadro 14. Efectos de la precipitación y temperatura anual en la productividad de café con datos departamentales de Honduras de 1999-2008..... | 46 |
| Cuadro 15. Efecto en la productividad del café en función de la precipitación y temperatura registradas en las etapas fenológicas del cultivo en un periodo de 10 años con datos departamentales | 47 |
| Cuadro 16. Correlaciones de la precipitación anual y precipitación registrada en las diferentes etapas fenológicas del café con la productividad..... | 48 |
| Cuadro 17. Coeficientes de correlación entre la productividad del café y temperaturas que se registraron en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de café a nivel de departamentos . | 49 |
| Cuadro 18. Producción a nivel de productores ciclo de cosecha 2005-2006 al 2009-2010 | 50 |
| Cuadro 19. Efecto de la precipitación anual y manejo del café sobre la productividad | 50 |
| Cuadro 20. Efecto de la precipitación registrada en las etapas fenológicas y manejo del café sobre la productividad (2005-2009)..... | 51 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 21. Productividad, temperatura media anual y precipitación registradas a nivel de productores de El Paraíso ciclo de cosecha 2003-2004 al 2009-2010..... | 52 |
| Cuadro 22. Precipitación anual y en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de café (2003-2004 al 2009-2010)..... | 53 |
| Cuadro 23. Efecto de la precipitación anual sobre la productividad de café a nivel de productores, ciclo de cosecha 2003-2004 al 2009-2010..... | 54 |
| Cuadro 24. Efectos de la precipitación en las etapas fenológicas del cultivo de café sobre la productividad a nivel de productores (2003-2004 al 2009-2010)..... | 54 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Escenarios climáticos de Honduras para la precipitación junio-agosto y temperatura anual proyectada al año 2050 (Argeñal 2010). | 7 |
| Figura 2. Escenarios climáticos de Honduras para la precipitación Julio y temperatura anual proyectada al año 2090 (Argeñal 2010). | 8 |
| Figura 3. Distribución de la precipitación anual y promedios anuales de lluvia en Honduras (Argeñal 2010). | 16 |
| Figura 4. Zonas climáticas de Honduras. | 17 |
| Figura 5. Escala para la clasificación del estado de desarrollo de los botones florales (Camayo et al. 2003). | 19 |
| Figura 6. Escala de estadio fenológico del fruto de café arábica (Pezzopane et al. 2003). | 20 |
| Figura 7. Fases fenológicas del café y estaciones del clima en Honduras. | 23 |
| Figura 8. Ubicación de departamentos seleccionados para el estudio. | 27 |
| Figura 9. Ubicación de nodos seleccionados para el estudio. | 29 |
| Figura 10. Comparación de datos de precipitación y temperatura de estaciones meteorológicas con datos completos y datos estimados por el Grid-Extractor. | 30 |
| Figura 11. Mapa de ubicación de la zona de estudio a nivel de productores. | 32 |
| Figura 12. Meses que se tomaron en cuenta para agrupar las variables climáticas de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo. | 36 |

LISTA DE UNIDADES, ABREVIATURAS Y SIGLAS

BCH: Banco Central de Honduras

CCAD: Comisión Centroamericana del Ambiente y el Desarrollo

CEPAL: Comisión Económica para América Latina y el Caribe

COMICAOL: Cooperativa Mixta de Caficultores de Oriente Limitada

COMIPIL: Cooperativa Mixta de Productores Innovadores Limitada

COMUEL: Cooperativa Mixta Unión y Esperanza Limitada

CEN: Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo

FHIA: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GTZ: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit

HMO: Estación Meteorológica Ordinaria

HMP: Estación Meteorológica Principal

IHCAFE: Instituto Hondureño del Café

IMN: Instituto Meteorológico Nacional

IICA: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

IPC: Índice del Precio del Consumidor

IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change

MFEWS: Sistema Mesoamericano de Alerta Temprana para la Seguridad Alimentaria

msnm: Metros sobre el nivel del mar

mz: Manzana

OIC: Organización Internacional del Café

OMM: Organización Meteorológica Mundial

ONI: Índice Oceanográfico del Niño

PAEPC: Programa de Apoyo Económico al Productor de Café

PIB: Producto Interno Bruto

PV: Pluviométrica

qq: Quintal

SERNA: Secretaria de Recursos Naturales

SISCA: Secretaría de la Integración Social Centroamericana

SMN: Servicio Meteorológico Nacional

TEL: Telemétrica

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

1 INTRODUCCIÓN

El café, es uno de los más valiosos productos primarios en el comercio mundial, ocupando por muchos años el segundo lugar en valor después del petróleo (Hernández 2009). Al igual que los demás países de Centroamérica, la actividad cafetalera en Honduras tiene gran importancia social y económica (CEPAL 2002). A nivel mundial en el año 2010 se estimó una producción de 134.5 millones de sacos de 60 kg de los cuales Honduras produjo el 2.82% (OIC 2011). En el 2008 aportó 4.38% al PIB Nacional y 36.13% al PIB agrícola generando divisas en el orden de 463.95 millones de dólares (IHCAFE 2009). En el 2011 Honduras se convierte en el principal país cafetero de América Central con cosecha de 3.8 millones de sacos de 60 kilos (Guerrero 2011). El café es tan importante no solo para la exportación si no para el consumo interno siendo este uno de los productos seleccionados en la canasta de alimentos del IPC (BCH 2010).

El café en Honduras se cultiva en 14 de los 18 departamentos del país. Las principales áreas de producción se encuentran en los departamentos de El Paraíso, Santa Bárbara, Olancho, Copán, Comayagua, La Paz y Lempira. Continúan en importancia los departamentos de Cortés, Ocotepeque, Yoro, Francisco Morazán e Intibucá. Por último están Choluteca y Atlántida (CEN 1999). La caficultura en Honduras se ha transformado en un importante generador de empleos ocupando de forma permanente el 20% de la mano de obra rural y en forma estacional durante la cosecha el 25% , de esta actividad dependen en forma directa cerca de un millón de personas (IHCAFE 2001a).

Desde la década de los noventa, varios autores han informado sobre señales de cambio climático en la región centroamericana (Ramírez 2007). Existen evidencias del aumento observado del promedio mundial de la temperatura del aire y el océano, de los 12 años (1995 al 2006), 11 figuran entre los más cálidos de la temperatura de la superficie mundial desde 1950 la tendencia lineal a 100 años (1906-2005), cifrada en incremento de 0.74°C siendo superior a la tendencia correspondiente de 0.6°C (1901-2000). Este aumento de la temperatura está distribuido por todo el planeta y se debe a las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero causado por la actividad humana (IPCC 2007)

El café en Honduras podría verse afectado por los cambios de temperatura y precipitación en el futuro. En las últimas décadas la temperatura promedio anual en Honduras se ha incrementado mientras la precipitación ha tendido a reducirse. Los pronósticos climáticos indican que tales tendencias se mantendrán e incluso se acentuarán en los próximos años. Partiendo de los niveles actuales, diversos escenarios climáticos proyectan aumentos en la temperatura entre 2°C y cerca de 5°C hacia el año 2100, mientras la precipitación podría reducirse entre 15% y 50% teniendo impacto sobre los rendimientos de café en una disminución de 40%. En términos de vulnerabilidad la OMM coloca a Honduras entre los 10 países más dañados por fenómenos naturales extremos durante el período 1990-2008 (Ordaz *et al.* 2010a).

Los modelos y las pruebas de anécdotas de granjeros y de otros profesionales del café están señalando que el clima está cambiando y que esto puede tener efectos negativos. Los productores de café en Honduras y Nicaragua opinan que las variaciones en las producciones de café se deben a climas extremos o efectos climáticos (10-25%). En Nicaragua en el año 2005 fue uno de los años con niveles récord de producción con 2 millones de sacos de 100 libras y esto coincidió con un acontecimiento extremo de La Niña, y los años 2004 y 2006 fueron años más secos que el 2005 y se dieron cosechas de café más bajas (Baker y Hagggar 2007).

Al igual que todo cultivo, el café presenta limitación a las diferentes condiciones climáticas existiendo rangos de temperatura y precipitación óptima (Rojas 1987). El desarrollo de las yemas y el crecimiento del fruto ocurren a temperaturas cercanas a 23°C durante el día y 17°C durante la noche, para la iniciación de flores y la maduración de los fruto se necesita una buena distribución de la lluvia a lo largo del año y la existencia de un periodo seco que dure de tres a cuatro meses (Carvajal 1984). Las temperaturas por encima de 24°C limita la floración como el llenado de los frutos y a temperaturas promedios de 26°C o superior se presenta fructificación con frutos maduros, verdes y flores en una misma rama (Fischersworrying y Robkamp 2001).

Si se dan precipitaciones con lluvias erráticas estas podrían afectar el café, cuyo ciclo de producción es dependiente de los patrones de la precipitación, ya que su floración es

activada por las primeras precipitaciones en el inicio de la estación de lluvias. Si la precipitación cae fuerte puede botar del árbol las flores y las frutas, también puede producir floraciones erráticas (Läderach *et al.* 2010). Las floraciones erráticas y maduración no uniforme del café incrementan el número de cortes de café por temporada incrementando los costos de producción (GTZ 2010).

A parte de la precipitación y temperatura existen otros factores que afectan la producción del café (Castro 2004). Cuando el precio del café es alto, el agricultor suele mejorar las condiciones culturales de sus cafetales, labor que se traduce en inversiones destinadas a mejorar la infraestructura de las plantaciones y el estado de los factores que influyen en la producción, los rendimientos y la productividad. Por el contrario, cuando los precios oscilan a la baja, estas labores se descuidan y las inversiones llevando a un detrimento de la producción (CEPAL 2002). Entre los factores que influyen en la producción están el nivel de manejo de insumos y mano de obra, manejo de árboles de sombra y poda (Lingbaek *et al.* 1999).

En relación a lo anterior el presente estudio trata de determinar el efecto de la temperatura y precipitación, así como variables de manejo de pre cosecha sobre la productividad de café en Honduras, por lo tanto está orientado a desarrollar los siguientes objetivos:

1.1 Objetivos del estudio

1.1.1 Objetivo general

Determinar el efecto de la precipitación y temperatura sobre la productividad de café en Honduras.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar el efecto de la temperatura y precipitación sobre la productividad del cultivo de café a nivel de departamentos de Honduras tomando en cuenta un periodo de diez ciclos de cosecha (1999-2000 al 2008-2009).

Determinar el efecto de la temperatura y precipitación sobre la productividad del cultivo del café a nivel de productores del departamento de El Paraíso tomando en cuenta un periodo de siete ciclos de cosecha (2003-2004 al 2009-2010).

Valorar la importancia relativa entre las prácticas pre-cosecha y factores climáticos sobre la productividad del café a nivel de productores del departamento de El Paraíso en un periodo de cinco ciclos de cosecha (2005-2006 al 2009-2010).

1.2 Preguntas de investigación

¿Los cambios de precipitaciones y temperatura anual que se registraron de 1999 al 2008 han tenido un efecto negativo en la productividad a nivel de departamento?

¿Los cambios de precipitaciones y temperaturas que se registraron en las diferentes etapas fenológicas en el cultivo de café de 1999 al 2008 han tenido un efecto negativo en la productividad a nivel de departamento?

¿El manejo de pre cosecha tiene un mayor efecto que la precipitación y temperatura que se registran en las etapas fenológicas del cultivo de café sobre la productividad?

¿A mayores precipitaciones en la etapa de pre-floración se dan menores productividades de café a nivel de productores?

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 Cambio climático

El término cambio climático se define como un cambio en el estado del clima identificable a raíz de un cambio en el valor medio en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos de tiempo (IPCC 2007). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras (IPCC 2001a).

Una de las causas del cambio climático es el incremento de las emisiones mundiales de los GEI siendo estos el dióxido de carbono (CO_2) como el GEI más importante, el óxido nitroso (N_2O), el metano (CH_4) y los gases-F (Hidrofluorocarbonos, Perfluorocarbonos y Hexafluoruro de azufre). Los aumentos de la concentración mundial de CO_2 se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil, deforestación, degradación de biomasa y a los cambios de uso de la tierra, es probable que el aumento observado de la concentración de CH_4 se deba a la agricultura, ganadería y a la utilización de combustibles de origen fósil. El aumento de la concentración de N_2O procede principalmente de la agricultura (IPCC 2007).

El clima de la tierra está influido por un flujo continuo de energía procedente del sol que llega principalmente en forma de luz visible y cerca del 30% se dispersa inmediatamente y vuelve al espacio pero la mayor parte del 70% restante atraviesa la atmósfera para calentar la superficie de la tierra. La tierra debe devolver esta energía al espacio en forma de radiación infrarroja por lo tanto los GEI en la atmósfera impiden que la radiación infrarroja escape directamente de la superficie al espacio lo que ocasiona el calentamiento global (UNFCCC 2004). Existen evidencias del aumento observado del promedio mundial de la temperatura del aire y el océano, de los 12 años (1995 al 2006), 11 figuran entre los más cálidos de la temperatura de la superficie mundial desde 1950 la tendencia lineal a 100 años (1906-2005), cifrada en incremento de 0.74°C siendo superior a la tendencia correspondiente de 0.6°C de 1901 al año 2000 (IPCC 2007).

El Cambio Climático para los agricultores será más difícil de prever y más variable el suministro de agua, y la sequía y las inundaciones serán más frecuentes, lo que tendrá graves consecuencias en la disponibilidad de agua afectando la productividad de los cultivos durante las próximas décadas (FAO 2007). El cambio climático producirá una serie de cambios a gran escala en los sistemas productivos, según Rodríguez (2007) se proyecta un ligero incremento en la productividad de los cultivos en las latitudes medias y altas por incrementos promedios regionales de temperatura entre 1°C y 3°C. En regiones tropicales y con sequía estacional, se proyecta una reducción en la productividad de los cultivos, incluso para pequeños incrementos en temperatura media (1°C a 2°C), lo cual aumentará el riesgo de hambruna. Se proyecta que el incremento en la frecuencia de las sequías e inundaciones afectará la producción local negativamente, especialmente en sectores de subsistencia en países con latitudes bajas.

Para el año 2050 en Honduras se estima una disminución en la precipitación con valores de 20% a 25% en la mayor parte del territorio nacional entre los meses de junio a agosto el déficit sobrepasa el 30% para la mayor parte del territorio especialmente los departamentos comprendidos en la mitad occidental de Honduras e incremento de temperatura de 1.95°C (Figura 1).

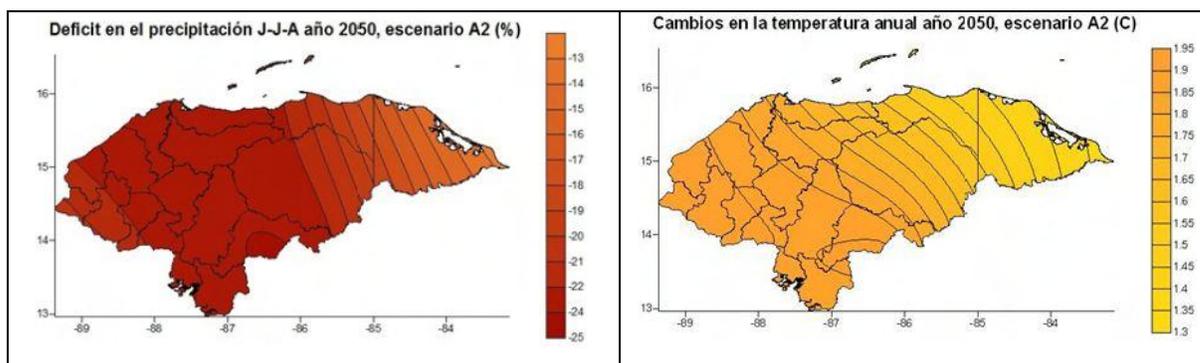


Figura 1. Escenarios climáticos de Honduras para la precipitación junio-agosto y temperatura anual proyectada al año 2050 (Argeñal 2010).

Los escenarios para el año 2090 en los meses de julio y agosto estarían lloviendo con disminución de 40% o 30% de lo que actualmente llueve mientras que la temperatura se estaría incrementando 4.3°C en la mayor parte de Honduras (Figura 2). Estas condiciones de déficit de lluvia y temperaturas altas durante julio y agosto es análogo a las condiciones que se presentan bajo la influencia del fenómeno El Niño, lo que hace suponer que esto podría ser

una evidencia de que este fenómeno se podría volver más frecuente e intenso debido al calentamiento global (Argeñal 2010).

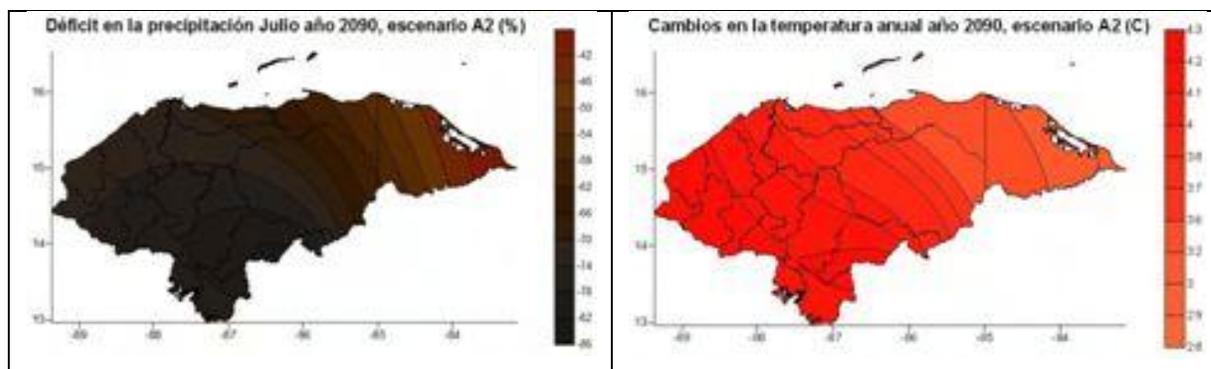


Figura 2. Escenarios climáticos de Honduras para la precipitación Julio y temperatura anual proyectada al año 2090 (Argeñal 2010).

2.2 Variabilidad climática

El clima es el estado típico de la atmósfera en un lugar y periodo determinados; es la manifestación diaria de los elementos meteorológicos tales como la temperatura, humedad, viento y otros (Heuvel dop *et al.* 1986). La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa) (IPCC 2001b).

Entre las tendencias más destacables para el resto del siglo están la intensificación de la variabilidad climática, con cambios en la variabilidad de temperaturas diarias, estacionales, interanuales e incluso entre décadas, aumento de la amplitud y la frecuencia de las precipitaciones extremas en muchas regiones (IPCC 2002). Entre las manifestaciones esperadas del cambio climático en la región se cuenta una mayor frecuencia e intensidad de fenómenos climáticos extremos (Huracanes, fenómeno de El Niño y La Niña) tanto por exceso de precipitaciones como eventos de sequía (CCAD 2008).

Durante el fenómeno de El Niño, los vientos alisios se debilitan y en consecuencia, lo hacen las corrientes oceánicas ecuatoriales, resultando en un desplazamiento de las masas de agua caliente y las zonas de máxima precipitación hacia el centro del Pacífico ecuatorial. De esta manera aguas anormalmente más calientes se extiendan desde el centro de la cuenca hasta la costa de Sudamérica. En la misma región del océano Pacífico tropical donde se desarrolla el fenómeno El Niño tiene lugar también la fase opuesta del fenómeno que se denomina La Niña. Ello ocurre cuando los vientos alisios soplan con mayor intensidad que lo habitual reforzando el apilamiento de aguas cálidas en Indonesia y el surgimiento de aguas frías en la costa de Sudamérica, aumentando la diferencia de temperatura de las aguas a través de la región ecuatorial (Camillone 2011). Las condiciones de El Niño favorecen condiciones secas y calientes en Centroamérica y el Caribe entre junio y agosto. El Niño en Honduras provoca disminución de lluvias durante casi toda la temporada lluviosa, en especial en el mes de agosto y octubre donde el déficit de lluvia fácilmente supera el 60%. Las condiciones de La Niña favorecen condiciones más húmedas y frías entre junio y agosto (Argeñal 2010).

2.2.1 Índice Oceanográfico del Niño (ONI)

Se define así al valor medio de la temperatura del mar en tres meses en la región del Pacífico Central (limitado entre las latitudes 5°N y 5°S y las longitudes 120 y 170°O). Si los valores del ONI exceden 0.5°C por más de 3 meses entonces se dice que estamos bajo condiciones cálidas de El Niño, y si los valores del ONI son menores a -0.5°C entonces estamos bajo la influencia de La Niña. Cuando los valores del ONI son mayores a -0.5 y menores que 0.5°C entonces decimos que estamos bajo condiciones normales (Argeñal 2010). El Cuadro 1 presenta el índice oceanográfico de El Niño de 1996 al año 2008.

De 1996 al 2011 se han presentado 4 eventos de El Niño siendo estos a inicios de marzo de 1997 a marzo de 1998 con 12 meses de duración, en el 2002-2003 con 11 meses de duración, en el 2006-2007 y en el año 2009. El evento de La Niña se presentó a inicios de julio de 1998 a junio del 2000 con 23 meses de duración, en diciembre del 2000 a mayo del 2001 con 5 meses de duración. En el 2005 se dieron condiciones neutrales en todo el Pacífico tropical, sin ninguna oscilación importante conducente a un episodio de El Niño o La Niña sin embargo se dieron temperaturas inusualmente frías de las aguas de superficie que después se extendieron a la parte central del Pacífico ecuatorial, sumadas a cambios atmosféricos

complementarios en toda la cuenca generando condiciones que se asemejaron a los comienzos de un episodio de La Niña (OMM 2011, OMM 2006).

Cuadro 1. Índice Oceanográfico del Niño

| Year | DJF | JFM | FMA | MAM | AMJ | MJJ | JJA | JAS | ASO | SON | OND | NDJ |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1996 | -0.8 | -0.7 | -0.5 | -0.3 | -0.2 | -0.2 | -0.1 | -0.2 | -0.1 | -0.2 | -0.3 | -0.4 |
| 1997 | -0.4 | -0.3 | -0.1 | 0.3 | 0.8 | 1.3 | 1.7 | 2 | 2.2 | 2.4 | 2.5 | 2.5 |
| 1998 | 2.3 | 2 | 1.4 | 1.1 | 0.4 | -0.1 | -0.7 | -1 | -1.1 | -1.2 | -1.4 | -1.5 |
| 1999 | -1.5 | -1.2 | -0.9 | -0.8 | -0.8 | -0.8 | -0.9 | -1 | -1 | -1.2 | -1.4 | -1.7 |
| 2000 | -1.7 | -1.4 | -1 | -0.8 | -0.6 | -0.6 | -0.4 | -0.4 | -0.4 | -0.5 | -0.7 | -0.7 |
| 2001 | -0.7 | -0.5 | -0.4 | -0.3 | -0.1 | 0.1 | 0.1 | 0 | 0 | -0.1 | -0.1 | -0.2 |
| 2002 | -0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 0.9 | 0.9 | 1.1 | 1.3 | 1.5 | 1.4 |
| 2003 | 1.2 | 0.9 | 0.5 | 0.1 | -0.1 | 0 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.6 | 0.4 |
| 2004 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.7 | 0.8 | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.8 |
| 2005 | 0.7 | 0.5 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | -0.1 | -0.4 | -0.7 |
| 2006 | -0.7 | -0.6 | -0.4 | -0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 0.6 | 0.9 | 1.1 | 1.1 |
| 2007 | 0.8 | 0.4 | 0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.1 | -0.4 | -0.7 | -1.0 | -1.1 | -1.3 |
| 2008 | -1.4 | -1.4 | -1.1 | -0.8 | -0.6 | -0.4 | -0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | -0.3 | -0.6 |

Fuente: Argeñal (2010).

2.2.2 Fenómenos climáticos extremos en Honduras

Los recientes eventos relacionados con el calentamiento global (El Niño de 1995-96 y el Huracán Mitch de 1998) han puesto en evidencia la vulnerabilidad de Honduras a los efectos negativos (SERNA 2000). Entre los daños físicos ocasionados por el Huracán Mitch al sector café en Honduras están 200 km de caminos de zonas cafetaleras destruidos, el 20% del área de café fue afectada equivalente a 30,000 ha con pérdidas de 500,000 qq, a los que se suman 105,000 qq de reserva que se perdieron al quedar inundadas las bodegas en que se almacenaba el producto. A ello se debe agregar la pérdida de unas 7,000 ha por deslizamientos de cerros, más de 100 instalaciones de beneficio del café que fueron arrastradas por las crecientes de los ríos e inundaciones (Stuart *et al.* 2001). Si se dan disminución de las precipitaciones en octubre y noviembre debido al fenómeno de El Niño las pérdidas en Honduras pueden llegar hasta 45% de la producción agrícola (MFEWS 2006). El Cuadro 2 presenta los Huracanes, depresiones y tormentas tropicales que han afectado directa e indirectamente Honduras de 1998 al año 2009.

Cuadro 2. Huracanes y tormentas tropicales de 1998 al 2009 registradas en Honduras

| Año | Nombre | Categoría | Fecha de duración | Días |
|------|-----------------------------|-----------|---------------------------------|------|
| 2009 | Huracán Ida | 2 | 4 al 10 de noviembre | 7 |
| 2008 | Depresión tropical Sixtee | - | 14 al 16 de octubre | 3 |
| 2007 | Huracán Paloma | 4 | 5-10 de Noviembre | 6 |
| 2007 | Huracán Felix | 5 | 31 de Agosto al 5 de Sep. | 6 |
| 2007 | Huracán Dean | 5 | 13 al 23 de Agosto | 10 |
| 2005 | Huracán Wilma | 5 | 15 al 25 de Octubre | 11 |
| 2005 | Huracán Beta | 3 | 27 al 31 de Octubre | 5 |
| 2005 | Huracán Emily | 4 | 11 al 21 de Julio | 11 |
| 2005 | Tormenta Tropical Gamma | - | 18 al 21 de Noviembre | 4 |
| 2005 | Tormenta Tropical Arlene | - | 8 al 13 de Junio | 6 |
| 2003 | Huracán Claudette | 1 | 8 al 16 de Julio | 9 |
| 2002 | Depresión Tropical Fourteen | - | 14 al 16 de Octubre | 3 |
| 2001 | Huracán Michelle | 4 | 28 de Octubre al 6 de Nov. | 10 |
| 2001 | Huracán Iris | 4 | 4 al 9 de Octubre | 6 |
| 2001 | Depreciación Tropical Nine | - | 19 la 20 de Septiembre | 2 |
| 2001 | Tormenta Tropical Chantal | - | 15 al 22 de Agosto | 8 |
| 2000 | Huracán Keith | 4 | 28 de Sept. al 6 de Octubre | 9 |
| 1999 | Tormenta Triptical Katrina | - | 28 de Octubre al 1 de Noviembre | 5 |
| 1998 | Huracán Mitch | 5 | 22 de Octubre al 5 de Noviembre | 15 |

Fuente: SMN de Honduras, disponible en: <http://www.smn.gob.hn/web/node/2037>

2.3 Cambio climático y su impacto en la producción de café

El Cambio Climático es una amenaza para la producción de café debido a los aumentos de temperatura y los cambios de patrones de precipitación proyectados. Estos cambios de precipitación seguirán ocasionando lluvias erráticas lo cual podría tener un impacto significativo sobre el café, si las lluvias disminuyen o son demasiado fuertes en la etapa de floración podrían ocasionar caída de las flores o frutos de la planta. Los cambios de temperatura y precipitación aumentarían la prevalencia de plagas y enfermedades en el cultivo de café como son la Broca (*Hypothenemus hampei*) y la Roya (*Hemileia vastatrix*). En América Central probablemente se reducirá la actitud climática del cultivo en la mayoría de

las actuales áreas productoras de café pasando de la elevación óptima actual de 1,200 msnm a los 1,600 para el año 2050 en América Central (Läderach *et al.* 2010).

El Cuadro 3 presenta la predicción de temperatura media y precipitación anual a través de modelos climáticos para Mesoamérica, en este se observa que el incremento en rangos de 2°C a 2.5°C de temperatura para el año 2050 se verá mayormente afectada las áreas productoras de café para Honduras y Nicaragua con porcentajes de cambio en las áreas productoras de café en 94.6% y 92.1% respectivamente, para el caso de las precipitaciones anuales si se dan disminución en rangos de -5 a -10% para el año 2050 nuevamente se verá afectadas las áreas de producción de café para Honduras y Nicaragua con cambios de 94.2% y 98% respectivamente.

Cuadro 3. Cambios proyectados en actitud climática de cultivos, temperatura y precipitación en Mesoamérica para el 2050.

| Cambio en aptitud del cultivo <i>El rojo indica cómo se verá afectada la mayoría de la producción del café en cada país</i> | | | | Contribución al PIB (%) | País | Los colores indican cómo se verán afectadas la mayoría de las áreas productoras de café en cada país | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|-----|-------------------------|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------------------------------------------------|------------|----------|---------|
| >40% o más | -40% a -20% | -20% a 0% | >0% | | | % del cambio dentro de los siguientes rangos de temperatura | | % del cambio dentro de los siguientes rangos de precipitación | | | |
| | | | | | | 2.0-2.25 °C | 2.25-2.5 °C | > -10% | -5% a -10% | -5% a 0% | 0% a 5% |
| 55.4 | 40.5 | 2.7 | 1.4 | 1.3 | Costa Rica | 100.0 | - | - | - | 100.0 | - |
| 45.5 | 43.7 | 10.9 | - | 2.5 | El Salvador | 78.3 | 21.7 | - | 1.1 | 98.9 | - |
| 12.9 | 25.5 | 54.2 | 7.4 | 4.2 | Guatemala | 60.8 | 39.2 | - | 17.4 | 82.6 | - |
| 38.2 | 49.8 | 11.0 | 1.0 | 8.2 | Honduras | 5.4 | 94.6 | 5.8 | 94.2 | - | - |
| 18.2 | 34.6 | 46.9 | 0.3 | 5.0 | México | 20.6 | 79.4 | - | 49.0 | 50.5 | 0.4 |
| 35.3 | 32.1 | 32.5 | 0.1 | 7.2 | Nicaragua | 7.9 | 92.1 | 1.2 | 98.0 | 0.8 | - |

Fuente: Läderach *et al.* 2011.

En la región Centroamericana y México se ha venido estudiando la influencia que tiene el Cambio Climático proyectado en la producción de café, entre estos estudios tenemos los siguientes:

En Veracruz, México Gay *et al.* (2006) explican el comportamiento de la producción de café a través de modelos econométricos para posteriormente proyectar la producción bajo diferentes condiciones climáticas. Entre 1969 y 1998 las precipitaciones han disminuido en 40 mm de lluvias con incremento de la temperatura en 0.02°C por año, si estos valores se mantienen constantes hasta el año 2020 la producción del café no puede ser económicamente

viable para los productores debido a que el modelo muestra una reducción del 34% en la producción de café.

En Honduras Ordaz *et al.* (2010a) determinaron a través de escenarios climáticos un incremento entre 2 y 5°C en la temperatura y reducción entre 15 y 50% en las precipitaciones hacia el año 2100 teniendo impacto sobre los rendimientos en una disminución de 40% para escenario moderado. Lo anterior se vería reflejado en los costos, pero en el corto plazo podría incluso haber ganancias económicas, esto debido a que la temperatura actual es cercana a la que permite mayores rendimientos de este cultivo. A largo plazo se predicen pérdidas entre 1 y 4% del PIB con tasa de descuento del 4 y 2%.

En Costa Rica el IMN (2008) pronostica a través del modelo PRECIS² proyectado a 100 años los siguientes cambios en las temperaturas y precipitaciones en las siguientes regiones:

Región Central: Se observa que la precipitación anual tiende a disminuir en toda la región hasta alcanzar valores de disminución entre el 16% y 23%. La temperatura máxima tiende a subir entre 4°C y 5°C, mientras que la temperatura mínima tiende a aumentar entre 2°C y 4°C. Pacífico central: Incremento de la temperatura máxima hasta 6°C y la mínima en 4°C. Pacífico sur: Incremento de la temperatura en rangos que van de 2°C a 4°C, mientras que la mínima aumenta entre 1 y 3°C.

En Heredia, Costa Rica Villalobos y Renata (1999) evaluaron el impacto del Cambio Climático en el cultivo de café con el modelo COFEEA³, los resultados obtenidos al someter a los escenarios climáticos propuestos para el cultivo de café tomando como testigo el rendimiento del año 1997 (2924.7 kg/ha), en el estudio determinaron que si se dan reducciones de -20% de las precipitaciones el rendimiento del café se reducirá a 2546.5 kg/ha y con el incremento de 1°C en la temperatura mínima se darían rendimientos de 2751.2 kg/ha.

² Modelo climático adaptado para la creación de escenarios climáticos, fue desarrollado por el Centro Hadley de la oficina de Meteorología del Reino Unido.

³ Modelo agroclimático diseñado y calibrado durante los años 1990 a 1992 para las provincias de Heredia y Alajuela, Costa Rica.

Hay evidencias de que el cambio climático ya está dando muestras de efectos adversos en El Salvador sobre el sector agropecuario, los cuales a futuro podrían intensificarse en caso que las condiciones de producción permanezcan constantes. Para el caso del café Ordaz *et al.* (2010b) menciona que es probable que el nivel de temperatura que permite los mayores rendimientos para el cultivo de café en el Salvador ya haya sido rebasado por lo que el cambio climático ya podría estar teniendo efectos adversos sobre este cultivo, la temperatura con máximos rendimientos es de 23°C al incrementar la temperatura sobre este valor los rendimientos de café tienden a disminuir. El nivel de precipitación del año 2006 es muy cercano al que permite lograr los mayores rendimientos y que si la precipitación se reduce por debajo de ese nivel la producción se podría ver afectada de forma adversa.

Laderach *et al.* (2010) evaluaron el impacto del cambio climático en el cultivo de café en Nicaragua y en Veracruz México a través de modelos de circulación Global y datos de clima del WorldClim. Las predicciones para el año 2050 presentan disminución de la precipitación de 1,740 a 1,610 mm en Nicaragua y de 1,990 a 1,870 en Veracruz, la temperatura media anual incrementa en 2.2°C en Nicaragua y Veracruz. En Nicaragua (Atlántico Norte, Jinotega y Madriz) antes del 2050 habrán áreas de café que van a perder entre el 40 y 50% sus condiciones aptas para el cultivo de café. Para el 2050 en Veracruz las áreas aptas para el café con alta acidez decrecen en 32%, por lo tanto habrá una disminución substancial de las áreas aptas para producir café con alta acidez. La elevación de café que produce acidez óptima es actualmente sobre 1,100 msnm, pero antes del año 2050 la elevación óptima aumentara sobre 1,600 msnm. Entre hoy y el 2050 las áreas de café entre altitudes de 900 y 1,500 msnm disminuirán sus condiciones favorables para el cultivo, mientras que las áreas con altitudes mayores a 1,800 msnm tendrán aumento en las condiciones favorables para el cultivo de café.

Estudio realizado por Baca (2011) en zonas cafetaleras en el norte de Nicaragua, identificó que las familias cafetaleras perciben cambios en la estacionalidad del clima en una línea de 20 años indicando que se han incrementado los meses de veranos llegando a durar hasta 5 meses y lo inviernos son más cortos con lluvias dispersas y menos abundantes. Además las temperaturas máximas son más altas en el verano y en los últimos años las sequías, huracanes, heladas y tormentas son más frecuentes. Estos cambios afectan los

sistemas de producción de café principalmente en las floraciones, rendimientos y manejo de los cultivos. El 18% de las familias se ubican en el nivel de alta vulnerabilidad siendo localizadas en los municipios de El Tuma-La Dalia, El Cuá y Quilalí, el 52% de las familias presentan media vulnerabilidad y el 30% de las familias presentan baja vulnerabilidad.

2.4 Descripción de los productores de café en Honduras

En Honduras para el ciclo 2008-2009 se registró un total de 86,937 productores de café los cuales cultivan un área de 349,092.95 mz con producción de 4, 183,021.72 qq oro para una productividad de 11.98 qq oro/mz (IHCAFE 2009). El café se cultiva con importancia económica en 14 de los 18 departamentos del país. Las principales áreas de producción se encuentran en los departamentos de El Paraíso, Santa Bárbara, Olancho, Copán, Comayagua, La Paz y Lempira. Continúan en importancia, los departamentos de Cortés, Ocotepeque, Yoro, Francisco Morazán e Intibucá y por último están Choluteca y Atlántida (CEN 1999). En Honduras se encuentran dos sistemas de cultivo de café: el sistema tradicional y el café con variedades mejoradas. En cafetales con variedades mejoradas se encuentran tres sistemas tecnológicos: bajo medio y alto que están relacionados a las densidades de siembra, grado de la cantidad de uso de fertilizantes, manejo de sombra y la forma en que controlan las malezas (Galloway y Beer 1997).

El 95.2% de los productores son pequeños propietarios con volúmenes de producción menores de 200 quintales, el 4.5% son medianos productores con producciones entre 200 y 1,000 qq; tan solo el 0.3% (170 productores) es considerado gran productor con sumas mayores de 1,000 qq. La superficie de producción es de 313,697 manzanas y tiene una distribución de 77% en pequeños productores, 13% en medianos y 10% en grandes. Los rendimientos de café oro por manzana son variables, según la región y el tipo de agricultor. En el caso del pequeño productor se presentan rendimientos de 3.7 qq/mz hasta 12 qq/mz. Para los productores medios va desde 16.5 a 18 qq/mz y los grandes tienen rendimientos de 21.3 qq/mz. Las regiones que tienen los mayores rendimientos son Ocotepeque, Copán y Lempira y las más bajas Atlántida, Yoro y Choluteca (CEN 1999). Entre las variedades de la especie arábica más cultivadas en el país están: Typica, Bourbon, Caturra, Pacas, Villa Sarchí, Catuaí, Ihcafe-90 y Lempira (IHCAFE 2001a).

2.5 El Clima en Honduras

La mayor parte del territorio de Honduras, especialmente las zonas ínter montanas y el litoral del Golfo de Fonseca, tienen un clima con un régimen de precipitación que presenta dos estaciones bien marcadas, una estación lluviosa y la otra seca. Durante la estación lluviosa de estas regiones (mayo-octubre) se presenta una disminución en la precipitación en un período conocido como Canícula. En contraste, en el litoral caribeño llueve durante casi todo el año registrándose una disminución en la precipitación durante los meses de febrero a mayo. La región donde más llueve es el litoral Caribe y la región donde menos llueve es la zona central del país (Argeñal 2010). La Figura 3 presenta la orografía, distribución anual de la precipitación y promedio totales anuales de lluvia en Honduras.

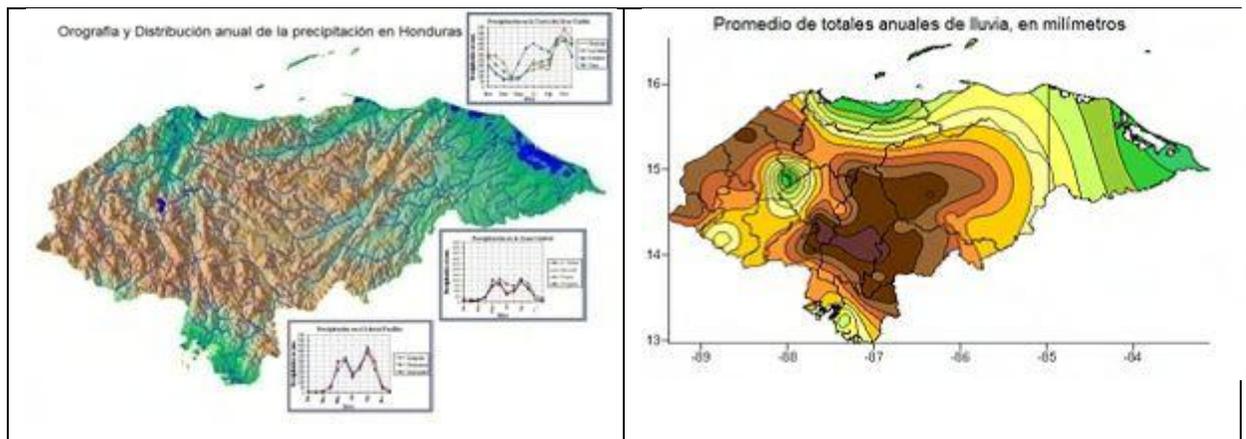


Figura 3. Distribución de la precipitación anual y promedios anuales de lluvia en Honduras (Argeñal 2010).

A continuación se hace una descripción general del clima en diferentes zonas climáticas de Honduras tomando en cuenta las zonas donde se produce café, la información a presentar pertenece al SMN⁴ de Honduras:

Zona Oriental: Incluye la región sur de Gracias a Dios, región nororiental de El Paraíso y Olancho. La estación seca es de diciembre a abril con febrero el mes con menor precipitación (19.0 mm), la estación lluviosa se presenta de mayo a noviembre, siendo septiembre el mes donde se dan mayores precipitaciones (211 mm). La precipitación anual es de 1,200 mm con 153 días con lluvia y una humedad relativa de 74%. La temperatura media

⁴ Disponible en: <http://www.smn.gob.hn/web/node/2094>

anual de 25°C con una máxima de 30.2°C y una mínima de 18.6°C con 8°C de amplitud térmica.

Zona Occidental: Se extiende por Ocotepeque, Copán, región sur de Santa Bárbara, Intibucá y Lempira. Por encima de los 1,400 msnm la estación seca es de diciembre a marzo y la lluviosa entre mediados de abril a noviembre con un máximo mensual en junio de 300 mm. La precipitación anual es de 1,290 mm con 160 días de lluvia y una humedad relativa de 76%. La temperatura media anual es de 18.3°C con 10°C de amplitud térmica. Por abajo de 1,400 msnm la estación seca es de diciembre hasta abril y la lluviosa es entre mayo y noviembre con un máximo en septiembre de 303 mm. La precipitación anual es de 1,395 mm con 144 días de lluvia y una humedad relativa de 76%. Para las zonas montañosas hasta 1,000 msnm la temperatura media anual es de 20.2°C con 10 grados de amplitud térmica.

Zona Central: Esta zona está compuesta por los departamentos de Francisco Morazán, Comayagua, La Paz, región noroccidental y el Paraíso. La estación seca es entre enero y abril, con febrero el mes más seco (8.0 mm) La estación lluviosa inicia a mediados de mayo y finaliza en octubre, presenta una canícula⁵ entre julio y agosto. La precipitación anual media es de 1,004 mm, con 118 días de lluvias y una humedad relativa promedio de 70%. La temperatura media anual en torno a los 1000 msnm es de 21.5°C. En la Figura 4 se presentan las zonas climáticas de Honduras.

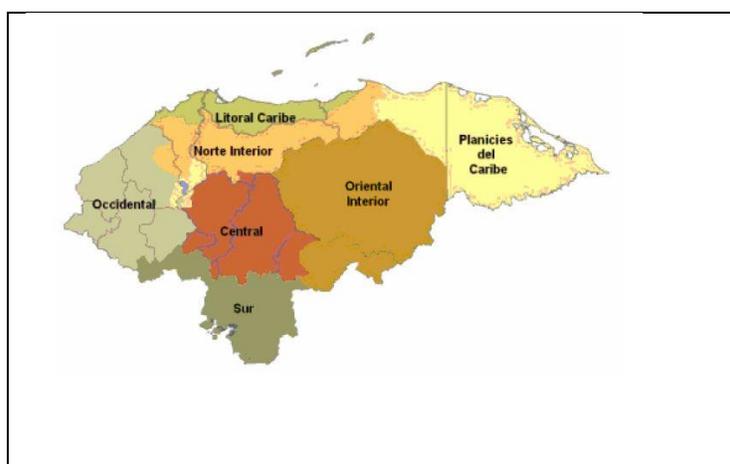


Figura 4. Zonas climáticas de Honduras.

⁵ Período en que se incrementa la frecuencia de lapsos secos

2.6 Fenología del cultivo de café

De acuerdo a la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1978) Honduras se clasifica por tener un clima tropical húmedo. Al estar las plantaciones en zona tropical, según Cannell (1985) la planta de café tiene un ciclo de fructificación anual debido a que existe una estación de lluvia y otra seca a diferencia de las partes ecuatoriales de Kenia y Colombia en donde el café tiene dos periodos de rápido crecimiento de rebrotes, floración y fructificación por presentar dos estaciones secas y dos estaciones húmedas.

Un cafeto bien manejado puede ser productivo hasta 80 años o más, pero la vida útil económica de la plantación raramente llega a los 30 años (Wintgens 2009). La plántula de café emerge entre los 45 y 50 días, después pasa al vivero y del vivero al trasplante definitivo en el campo cuando la planta tiene de cinco a seis meses de edad y esta tenga por lo menos seis pares de hojas verdaderas (IHCAFE 2001a). El café toma tres años desde la germinación de la semilla hasta la producción de frutos (Wintgens 2009). El café de Honduras en alturas iguales o mayores a 750 msnm la etapa de prefloración-floración van del 11 de marzo al 15 de abril, la formación del grano va del 16 de abril al 20 de noviembre, la etapa de maduración del 21 de noviembre al 31 de diciembre (IHCAFE 2001b). El proceso de floración inicia cuando las yemas axilares se hinchan en las axilas foliares y termina cuando se da la antesis (Arcila 2001). La antesis ocurre aproximadamente a los 10 días después de una lluvia de 10 mm (Aristizábal y Arcila 1975).

La floración del cafeto de acuerdo a Camayo y Arcila (1999) citado por Cenicafé (2007) es un evento asociado estrechamente a las condiciones climáticas de cada región y se considera generalmente como el momento en que se abren las flores, pero debe tenerse en cuenta que este es un proceso de desarrollo muy complejo que se inicia 4-5 meses antes de la apertura floral. Se puede dividir en cuatro fases: Una primera fase de iniciación y diferenciación floral que dura 30 días aproximadamente. Una segunda fase de crecimiento de las yemas hasta que los botones florales alcanzan el tamaño de un "comino", con una duración promedio de 45 días. Sigue una fase de reposo que dura alrededor de 30 días y finalmente se presenta la antesis o floración propiamente dicha, proceso que dura 10 días. Una flor abierta dura 3 días en promedio. Para que se termine este período de reposo y se produzca la floración se requiere de un estrés proporcionado por períodos de días continuos secos de mediana a

larga duración y que además este período seco sea interrumpido por una lluvia o cambios bruscos de temperatura. La Figura 5 presenta la escala para la clasificación del estado para el desarrollo de los botones florales adaptada por Womer y Gituanja (1970) citado por Camayo *et al.* (2003).

| | | | |
|----|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| B1 |  | Tamaño: 2 mm - Color verde cubiertas por las estípulas - Presencia de mucilago de color ámbar- - Botones florales indiferenciados | B1 (Botones florales indiferenciados) |
| B2 |  | Tamaño: 2.6 mm - Sobresalen por debajo de las estípulas. - Botón floral en desarrollo. | B2 (Botones florales en desarrollo): Botones color verde cubierto con mucilago color ámbar. |
| B3 |  | Tamaño: 4.4 mm. - Color verde y botón desarrollado en estado latente. | B3 (Botones florales diferenciados): |
| B4 |  | Tamaño: 6 a 10 mm. - Color blanco. Botones florales definidos próximos a abrir. | B4 (Botones florales en preantesis) |
| B5 |  | Botones florales en antesis. | B5 (Botones florales en antesis): En este estado la flor se abre. completamente u se alcanza el final del proceso de floración. |

Figura 5. Escala para la clasificación del estado de desarrollo de los botones florales (Camayo *et al.* 2003).

Después de la floración inicia el crecimiento y formación del fruto el cual pasa por una serie de procesos hasta llegar a la maduración. En la Figura 6, Pezzopane *et al.* (2003) muestra los diferentes estadios en la formación del fruto. Después de la floración comienza la formación del fruto llamada fase “chumbinho” (Figura 6a), cuando las frutas no presentan crecimiento visible. Más adelante, las frutas crecen rápidamente (Figura 6b) alcanzando su crecimiento máximo, la formación de endospermo ocurre, después sigue la fase del grano verde (Figura 6c), seguida de la fase color caña verde (Figura 6d) que caracteriza el principio de la maduración, las frutas comienzan al movimiento del color (verde para el amarillo), desarrollándose hasta el estadio “cereza” (Figura 6e), las frutas comienzan a secarse llamado estadio pasa (Figura 6f) hasta alcanzar el estadio seco (Figura 6g).

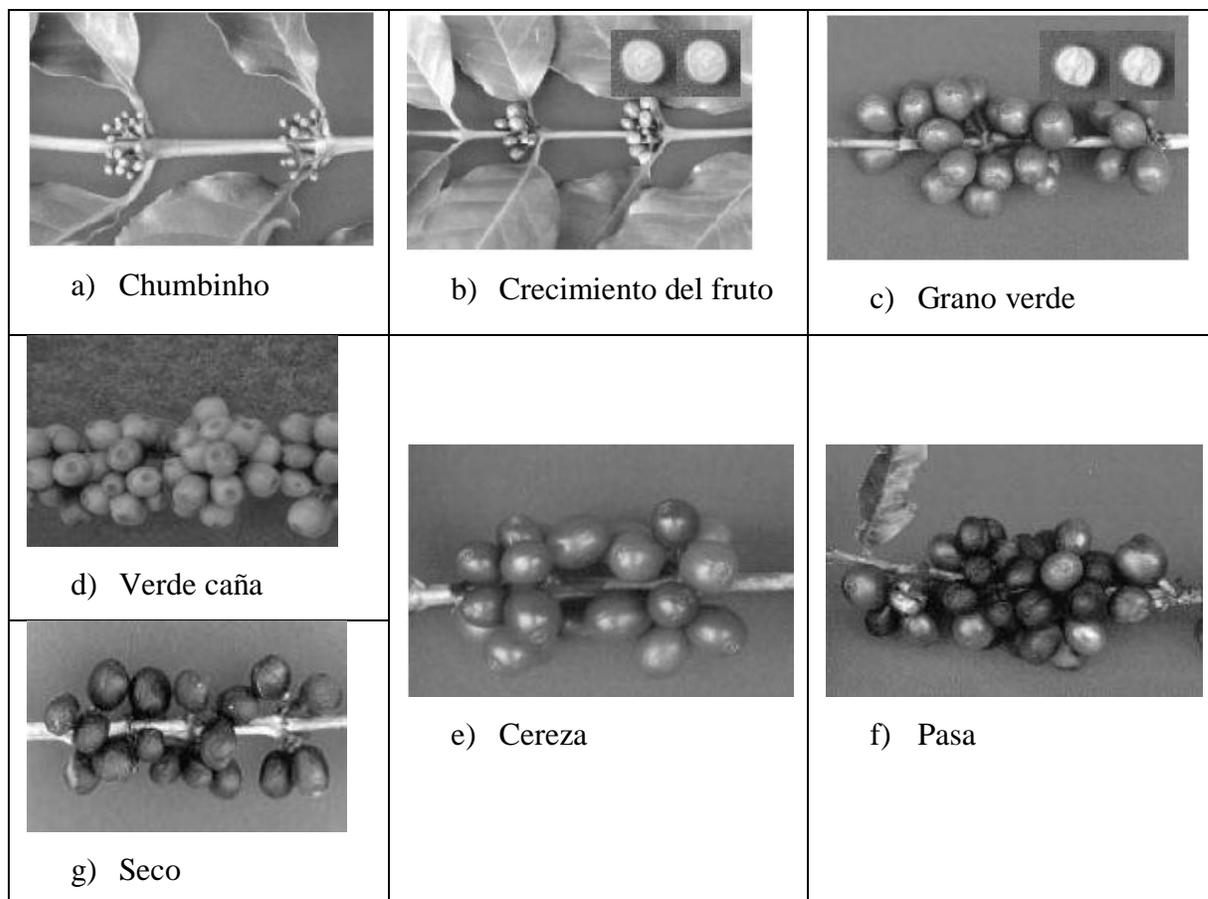


Figura 6. Escala de estadio fenológico del fruto de café arábica (Pezzopane et al. 2003).

Desde el momento de la floración hasta la maduración del fruto transcurren aproximadamente 32 semanas, durante este periodo el fruto pasa a través de diferentes estados de desarrollo (Cenicafé 2007), a continuación se presentan los estados del desarrollo del fruto:

- Etapa 1: Primeras 7 etapas después de la floración, el crecimiento del fruto es imperceptible y tiene el aspecto de un fósforo.
- Etapa 2: Semana 8 a 17 después de la floración. El fruto crece en forma acelerada y adquiere el tamaño final. La semilla es de consistencia gelatinosa.
- Etapa 3: Semanas 18 a 25 después de la floración. La semilla completa su desarrollo, se endurece y gana peso.
- Etapa 4: Semanas 26 a 32 después de la floración. El fruto ya está fisiológicamente desarrollado y tiene lugar la maduración.
- Etapa 5: Después de la semana 32 el fruto se sobre madura y se torna de un color violeta oscuro y finalmente se seca. Hay pérdida de peso.

2.7 Valores apropiados de temperatura y precipitación para el cultivo de café

El café requiere para su desarrollo cierto clima dado por la combinación de los diferentes componentes como la temperatura y precipitación (Gliessman 2002). Estos componentes afectan el crecimiento del cafeto y su producción (González 2007). Para la actividad fisiológica de los organismos vivos se pueden definir varios puntos térmicos como mínimos, óptimos y máximos (CATIE 1986).

Las plantaciones de café que se cultivan en Honduras son de *Coffea arabica* (IHCAFE 2001a). El *Coffea arabica* tiene su centro de origen en Etiopía (Abisinia) en el Oriente de África en altitudes de 1,300 a 2,000 msnm, sin embargo esta especie se adapta generalmente en las montañas tropicales entre 600 y 1,500 msnm (Wintgens 2009). Se considera que las alturas óptimas para el cultivo de café están entre 900 y 1,200 msnm, en las regiones tropicales a dichas alturas normalmente se presenta un rango de temperatura de 17°C a 23°C que es óptimo para el cultivo de café (Guharay *et al.* 2000).

Jaramillo y Guzmán (1984) estudiaron la relación entre la temperatura media del aire y crecimiento de *Coffea arabica* L., variedad Caturra en condiciones de campo en distintas localidades de Colombia encontrando que el crecimiento tiene una tendencia positiva entre los 16°C y los 21°C con punto óptimo de 21°C para el crecimiento de la planta de café. Fischersworing y Robkamp (2001) mencionan que la temperatura óptima oscila entre 19°C y 21°C con extremos de 17°C y 23°C.

Para Wintgens (2009) la temperatura óptima para el *Coffea arabica* en su medio natural es de 18°C durante la noche y 22°C durante el día, sin embargo puede tolerar temperaturas de 15°C durante la noche y 25°C-30°C durante el día. De acuerdo a Alégre (1959) las temperaturas medias anuales óptimas están en el rango comprendido entre 18°C y 21°C, Alvarado y Rojas (2007) indica que los rangos óptimos andan entre 17°C y 23°C. Jaramillo y Guzmán (1984) mencionan promedio óptimo de 21°C y Wrigley (1988) promedio de 20°C. El IHCAFE (2001a) alude que los rangos óptimos de temperatura para el café son entre 20°C y 25°C. La FAO 2011 citado por Hagggar y Schepp (2011) menciona que la temperatura óptima mínima para *Coffea arabica* es de 14°C y la máxima de 28°C.

La floración es el comienzo de la fase reproductiva del cafeto y de su magnitud depende en gran parte la cosecha resultante (Camayo *et al.* 2003). El desarrollo de las yemas florales es favorecido por temperaturas cercanas a 23°C durante el día y 17°C durante la noche (Carvajal 1984). Las temperaturas de 23°C de día y 18°C por la noche promueven la iniciación floral (Drinnan y Menzel 1994). En la etapa de maduración del grano de café tiene relación con altitud y la temperatura, al ascender 180 msnm la temperatura disminuye 1°C y a medida que la temperatura disminuye la maduración del café es mas lenta (Wintgens 2009).

La precipitación es un factor climático muy importante que tienen un efecto significativo en la floración, producción y en la época de maduración del grano (Alvarado y Rojas 2007). El cafeto tiene un amplio rango de tolerancia a la precipitación crece bien desde 800 mm en Kenia hasta 2,500 mm, en algunas regiones de Costa Rica y de otros países; se ha indicado que el óptimo está entre 1,200 y 1,800 mm con una buena distribución durante el año (Arias 1982). Las precipitaciones de 1,600 a 1,800 mm, bien distribuidas durante el año, con un periodo seco definido no mayor de dos o tres meses son óptimas para el cultivo de café (Guharay *et al.* 2000). Precipitaciones anuales entre 1,400 y 2,000 mm son favorables para el crecimiento de café arábica, precipitación anual entre 2,500 y 3,000 mm no causa daño significativo a la planta de café si el drenaje vertical es suficiente (Wintgens 2009). Otros autores mencionan rangos de precipitación anual óptimos para el café entre estos están; rangos que van de 1,000 y 3,500 mm (Fischersworing y Robkamp 2001), 1,200 y 1,800 mm (Alégre 1959), 1,200 a 2,000 mm (IHCAFE 2001a).

Los cambios estacionales de temperaturas y estado hídrico con el estadio de desarrollo, son los que explican los cambios fisiológicos en el café. Durante los meses secos y fríos la tasa de crecimiento de los rebrotes es más lenta y el rápido crecimiento es accionado por las lluvias induce a la apertura floral. Los frutos se desarrollan durante la estación lluviosa y maduran al comienzo de la siguiente estación seca existiendo una relación entre las estaciones y ciclos fenológicos Cannell (1985). La Figura 7 presenta los meses en que se dan las diferentes etapas fenológicas del cultivo de café y la época lluviosa y seca.

| Mes | E | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-----------------|------|---|---------|-------------------|----------|---|---|---|---|------|------------|---|
| Café > 750 msnm | | | Pre-Flo | Llenado del grano | | | | | | | Maduración | |
| Época | Seca | | | | Lluviosa | | | | | Seca | | |

Figura 7. Fases fenológicas del café y estaciones del clima en Honduras⁶.

Para la iniciación de flores y la maduración de los frutos se necesita una buena distribución de la lluvia a lo largo del año y la existencia de un periodo seco que dure de tres a cuatro meses (Carvajal 1984). El café requiere más de 150 mm de precipitación por mes durante la floración y maduración, seguidos por un período seco en verano (Donga y Jährmann 2008).

2.8 Efectos negativos de la temperatura y precipitación en el cultivo de café

Los límites de tolerancia del Cafeto para temperaturas bajas en el cual no hay crecimiento se encuentran entre 8°C y 14°C aproximadamente, por lo tanto 10°C podría ser considerado como temperatura base inferior en café. Los límites de temperaturas altas en los cuales el crecimiento se detendría, varían entre 30°C y 33°C un valor de 32°C consideraría como el límite de tolerancia superior (Jaramillo y Guzmán 1984).

A temperaturas por debajo de 10°C durante largos periodos de tiempo se puede llegar a producir clorosis y detención en el crecimiento de las hojas debido a la muerte de los cloroplastos (McDonald 1930). Por debajo de los 15°C la planta de café empieza a mostrar reducción de la producción, quema de hojas y brotes nuevos (IHCAFE 2001a). Las temperaturas más altas llevan a un declive en la producción y polinización de granos de café porque reduce la distancia de los tubos de polen disminuyendo las oportunidades de fertilización de los óvulos (Donga y Jährmann 2008).

Las temperaturas promedio menores a 16°C causan una disminución del crecimiento del café y las temperaturas mayores de 23°C aceleran el crecimiento vegetativo y limitan la floración y fructificación (Guharay *et al.* 2000). Si durante la época de floración se producen altas temperaturas y coinciden con el periodo seco se producen caída de flores (Camargo 1985). Las temperaturas altas por encima de los 28°C inhiben la iniciación floral (Drinnan y

⁶ Fuente: Con datos del IHCAFE (2001b), NFEWS (2006)

Menzel 1994). Con temperaturas de 23/18°C las variedades de café Catimor, Caturra rojo, Caturra amarillo, Catuaí rojo presentaron 2.7, 3.2, 5 y 4.9 inflorescencias por nudo y con temperaturas de 18/13°C presentaron menores inflorescencias con 1.7, 3.5, 4.1, 3.4 número de totales de inflorescencias por nudo (Drinnan y Menzel 1995). Estudio realizado por Cenicafé (2000) analizó la distribución de la floración y la cosecha a diferentes altitudes y determinaron que la floración y la cosecha ocurrieron más temprano y más concentradas a 1,100 msnm, donde el promedio de temperatura fue de 23.2°C, con temperaturas de 17.1°C, fueron más tardías y dispersas.

Con temperatura promedio de 26°C o superior se presenta un fructificación con frutos maduros o próximos a la madurez junto a frutos verdes de tamaño mediano y flores en una misma rama (Fischersworing y Robkamp 2001). La falta de un buen desarrollo del fruto se debe a la disminución de la fotosíntesis ocasionada por temperaturas por debajo de 16°C y arriba de 24°C (Wrigley 1988). A partir de 24°C la fotosíntesis se reduce en un 10% por cada grado que aumenta (Valencia 1973). La temperatura afecta la velocidad de desarrollo del fruto ya que se ha determinado que a una temperatura de 17°C durante el día y 12°C durante la noche el periodo de fructificación tarda 9 meses mientras que a temperaturas de 25°C en el día y 20 en la noche el desarrollo del fruto tarda 4 meses (Arias 1982).

La maduración del fruto y su crecimiento se acelerara a medida que la temperatura se incrementa por encima de 23°C, por arriba de 30°C y por debajo de 15°C no permite el buen desarrollo del fruto (Camargo 1985). Todo cultivo necesita una cantidad constante de energía para su desarrollo y crecimiento y una de las maneras para medir esta energía es indirectamente mediante la suma de temperaturas dentro del rango de tolerancia del cultivo, a esta suma se le denomina comúnmente unidades térmicas. Para el desarrollo del fruto el número de unidades térmicas requeridas es 2,560. La relación existente entre el número de días transcurridos desde la siembra y la primera cosecha tiene relación con la temperatura, entre menor temperatura el número de días es mayor y viceversa. Al aumentar la temperatura en un grado el número de días entre la siembra y cosecha disminuye en 36 días (Jaramillo y Guzmán 1984).

La productividad potencial de una comunidad vegetal está determinada por la interrelación de factores climáticos, edáficos y antropológicos. La disponibilidad de agua en el suelo y la disponibilidad de energía influye sobre los procesos bioquímicos como son la fotosíntesis y la respiración y por lo tanto, en el crecimiento y desarrollo final de la planta (Jaramillo y Guzmán 1984). Cuando se dan precipitaciones inferiores a 1,000 mm se limitan el crecimiento de la planta y el desarrollo de los frutos, y si se da una sequía prolongada los cafetos presentan amarillamiento y fuerte defoliación, si las precipitaciones son por arriba de los 3,000 mm anuales se da incremento de enfermedades y pérdida de nutrientes del suelo (Guharay *et al.* 2000; Fischersworing y Robkamp 2001). Cuando se presenta estrés hídrico en la planta, el déficit hídrico estimula la abscisión de las hojas por aumento de la síntesis y sensibilidad al etileno (Ledent 2002).

Cantidades superiores a los 3,000 mm o menores a los 1,000 se observan problemas en el tamaño del grano, el crecimiento de la planta e incidencia de plagas y enfermedades y la calidad de la taza (IHCAFE 2001a). Los cambios en la precipitación, distribución e intensidad dañan el crecimiento de la planta de café por fuertes lluvias durante el período seco o durante la estación lluviosa rompiendo el proceso de floración (Donga y Jährmann 2008). La falta de períodos secos definidos en las épocas habituales de floración ocasiona que los botones florales permanezcan en reposo durante un tiempo más largo y que en consecuencia las floraciones sean dispersas, muy poco concentradas o que se presenten anomalías en el desarrollo de la flor como las "flores estrellas". Las deficiencias hídricas si se presentan entre las semanas 7-14 después de la floración, afectan el tamaño del fruto y si es entre las semanas 15-25, se producen granos vanos o defectuosos por falta de llenado suficiente (Cenicafé 2007).

Bajo condiciones naturales, la inactividad de los brotes de flor está a menudo quebrada por las primeras lluvias en la estación que sigue un período seco (Barros *et al.* 1999). En los años donde ocurre mayor precipitación durante el periodo de sazónamiento y de maduración de los frutos, la tasa de incremento de la población de la broca es menor que la registrada en años con menor precipitación, durante esta etapa fenológica debido a que la presencia de lluvias abundantes en este periodo puede causar alta mortalidad de las hembras fecundadas y por consiguiente, una reducción notable en la tasa de incremento de la población (Guharay *et al.* 2000).

2.9 Bianualidad en la producción de café

La planta de café en su hábitat natural asociada al bosque natural mantenía un equilibrio entre fruto, raíz, madera y área foliar. Con el desarrollo de la caficultura intensiva, el hecho de producir plantas pequeñas con entrenudos cortos y altamente productoras se ha modificado su ambiente natural para forzar a la planta a producir más haciendo mover asimilados y elementos nutritivos al fruto provenientes del tejido foliar y maderos. Como consecuencia inmediata esta exportación de energía potencial, restó capacidad de producción vegetativa, debilitando a la planta y ocasionando años alternos en la producción traduciéndose en un desequilibrio energético (Segura 1990).

La producción baja de café en un año y alta producción al siguiente año se debe a que los años de baja producción los nutrientes que el árbol no utiliza, lo utiliza en crecimiento de ramas primarias lo que permite mayor producción al año siguiente (González 2007). De acuerdo a Carvajal (1984) esta alternancia está influenciada por el ambiente y depende del suministro de fertilizantes, edad de la planta y número de bandolas productivas. Cuando se consigue disminuir el estrés nutricional a través de riego por goteo en el café se disminuye la bianualidad en la producción (Goldstein 2000). La poda en café es una práctica que bien realizada contribuye a prolongar la vida del cafetal, manteniendo los niveles de producción y disminuyendo el problema de alternancia (FHIA 2004).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio contó con dos niveles, el primero a nivel de departamentos, para este se tomó en cuenta cifras departamentales de producción y áreas de café, el segundo a nivel de productores de café, en este se tomó en cuenta datos de fincas de productores de café del municipio de El Paraíso y Alauca de las cooperativas COMICAOL y COMIPIL atendidos por el Proyecto Innovaciones de Café⁷.

3.1 Nivel de departamentos

De 15 departamentos que se produce café en Honduras se seleccionaron 11, los departamentos de Choluteca, Colon y Atlántida no se tomaron en cuenta por presentar 0.19% del total de producción del país, y el departamento de la Paz por no contar con datos meteorológicos completos. Para los análisis se utilizaron series de datos de 10 ciclos de cosecha para cada departamento el cual va del ciclo de cosecha de 1999-2000 al ciclo 2008-2009. En la Figura 8 se presentan los departamentos seleccionados para el estudio.

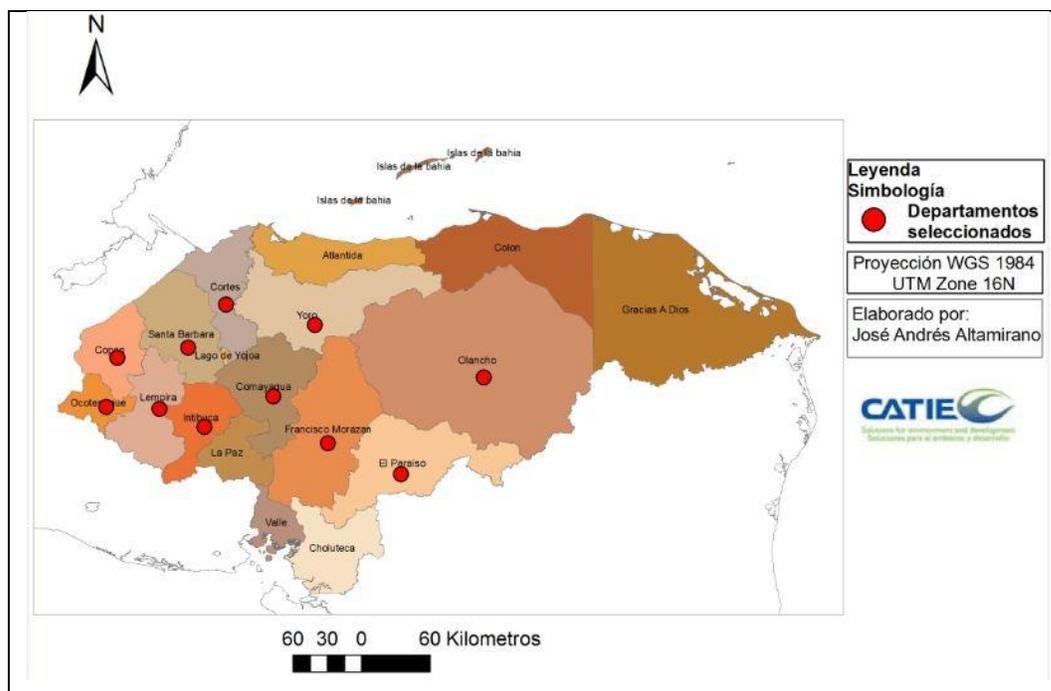


Figura 8. Ubicación de departamentos seleccionados para el estudio.

⁷ El Proyecto de Innovación en cadenas de valor sostenible de Café fué financiado por Noruega y ejecutado por el CATIE en zonas cafetaleras de Honduras y Nicaragua (2006-2010).

3.1.1 Fuentes de la información a nivel de departamentos

3.1.1.1 Datos meteorológicos de precipitaciones y temperatura

Al inicio del estudio se seleccionaron un total de 13 estaciones meteorológicas pertenecientes al SMN de Honduras y del departamento de Servicios Hidrológicos y Climatológicos del SERNA. Para estos se tomaron registros de 10 años de 1999-2008, para la selección de las estaciones meteorológicas se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Selección de estaciones meteorológicas en zona donde se cultiva café.
- Selección de estaciones más cercanas al borde de la zona donde se cultiva café.
- Selección de las estaciones ubicada por arriba de 600 msnm, este criterio no se cumplió para el departamento de Comayagua, Santa Bárbara, Cortés y Olancho.
- Estaciones meteorológicas activas y en buen estado.
- Número de años y calidad de series de datos.

Cuadro 4. Estaciones meteorológicas seleccionadas para el nivel de departamentos

| # | Departamento | Estación | Pertenece | Código | Tipo | (km)** | msnm | Variable |
|----|-------------------|---------------------|-----------|--------|------|--------|------|----------|
| 1 | Comayagua | Playitas | SERNA | 25084 | HMP | 5.8 | 595 | t y pp |
| 2 | Copán | Santa Rosa | SMN | 78717 | TEL | * | 1083 | t y pp |
| 3 | Cortés | La Mesa | SMN | 78708 | TEL | 13 | 50 | t y pp |
| 4 | El Paraíso | San Lucas | SERNA | 56015 | PV | * | 1250 | pp |
| 5 | El Paraíso | Villa Ahumada | SERNA | 39009 | HMO | 1.5 | 830 | t |
| 6 | Francisco Morazán | Lepaterique | SERNA | 54009 | TEL | 0.5 | 1507 | pp |
| 7 | Francisco Morazán | Tegucigalpa | SMN | 78720 | TEL | 6.5 | 1017 | t |
| 8 | Intibucá | La Esperanza | SMN | 78719 | TEL | * | 1701 | t y pp |
| 9 | Lempira | Erandique | SERNA | 46215 | PV | 6.7 | 1150 | pp |
| 10 | Ocatepeque | Nueva Ocatepeque | SMN | 78718 | TEL | 3.3 | 772 | t y pp |
| 11 | Olancho | Catacamas | SMN | 78714 | TEL | 5.7 | 384 | t y pp |
| 12 | Santa Bárbara | Quimistan | SERNA | 23010 | HMO | 7.6 | 205 | t y pp |
| 13 | Yoro | Yoro | SMN | 78707 | TEL | 1.5 | 701 | t y pp |

Observación: t= temperatura, pp= precipitación, **Distancia al borde de la zona donde se cultiva café. *Estación ubicada en zona de café.

A pesar de hacer una selección de las estaciones meteorológicas tomando en cuenta los criterios antes mencionados, los datos de las estaciones seleccionadas presentaron en las variables climáticas datos faltantes en algunos meses del año (Anexo 1 y 2) lo cual podría ocasionar sesgos en los resultados de los análisis por lo tanto se tomó la decisión de utilizar las variables climáticas del programa Grid-Extractor. Dicho programa fue creado por Uribe y Jiménez (2010) del Banco Mundial el cual está elaborado en base a datos de las estaciones meteorológicas del SERNA y SMN. El programa estima variables climáticas a nivel de Departamentos, Polígonos y Nodos. Las variables que estima son la temperatura máxima, temperatura mínima, evapotranspiración y radiación solar. Para el estudio se seleccionaron nodos que estuvieran dentro de zonas de café o lo más próximo al borde de las zonas donde se produce café (Figura 9, Anexo 3 y 4). Los nodos ubicados en cada departamento se promediaron para obtener un dato por departamento.

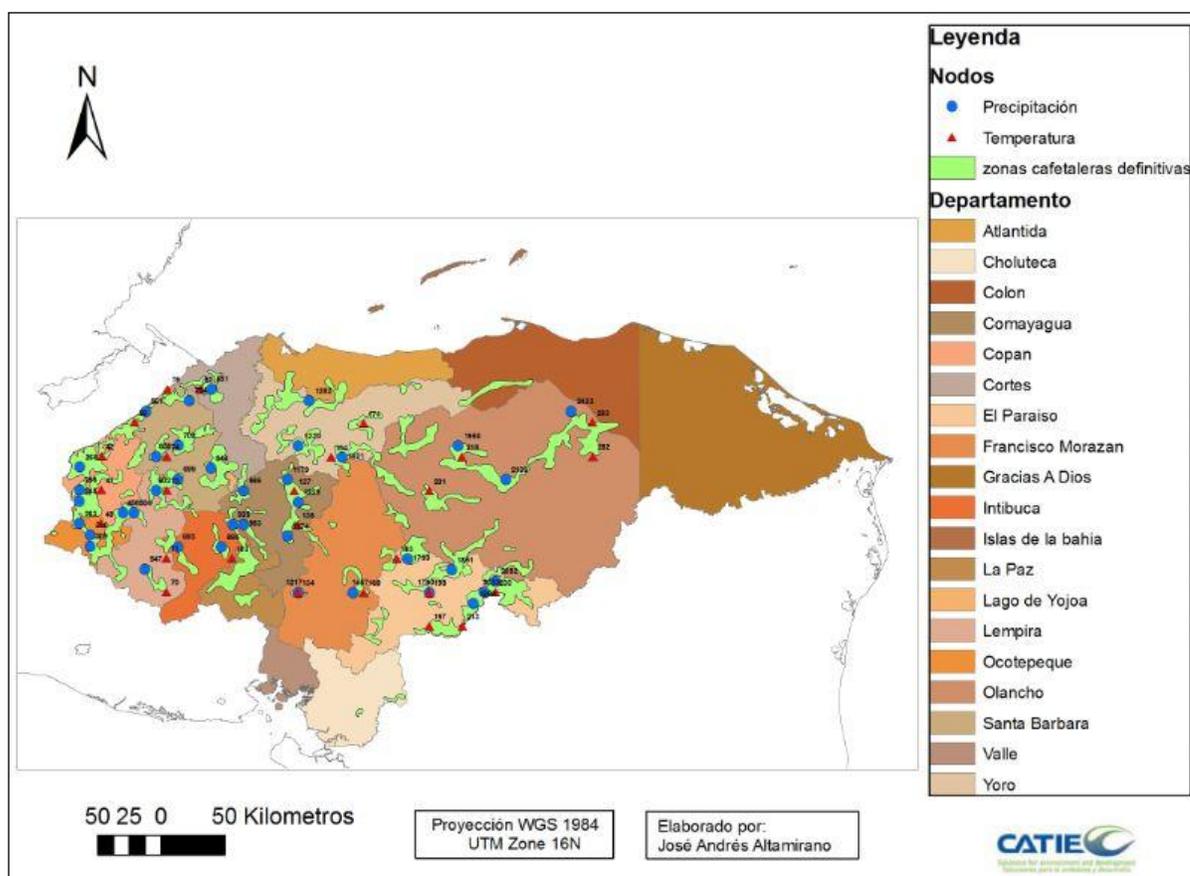


Figura 9. Ubicación de nodos seleccionados para el estudio.

Se graficaron los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas versus los datos obtenidos del Grid-Extractor con el objetivo de ver si existen similitud entre ambos y ver si los datos estimados por el Grid-Extractor se aproximan a los datos de las estaciones meteorológicas y ver su confiabilidad para ser utilizados, para esto se seleccionó una estación meteorológica para temperatura y otra para precipitación con datos completos. En la Figura 10 se puede apreciar que los datos de temperatura y precipitación del Grid-Extractor son similares a los datos obtenidos de las estaciones meteorológicas con datos completos lo que indica que las estimaciones que hace el Grid-Extractor son similares a los datos proporcionados por las estaciones meteorológicas cuando estas cuentan con datos completos por lo tanto son confiables. En el Anexo 5 y 6 se presentan otros departamentos con las relaciones entre datos Grid-Extractor y estaciones meteorológicas con datos completos e incompletos.

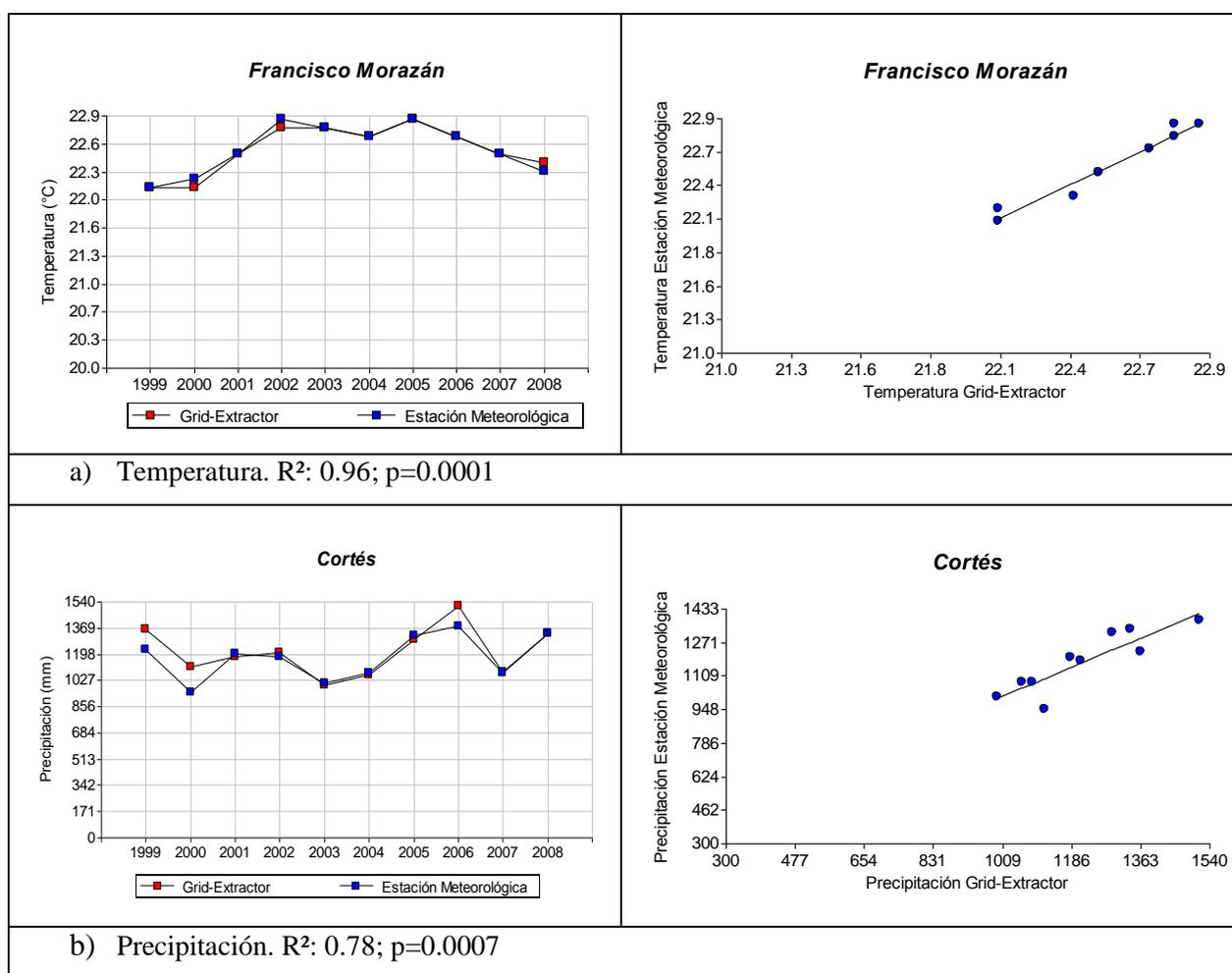


Figura 10. Comparación de datos de precipitación y temperatura de estaciones meteorológicas con datos completos y datos estimados por el Grid-Extractor.

3.1.1.2 Datos de producción y área de café

Para el estudio se utilizaron datos de producción y área de café del año 1999 al 2008, estos datos se obtuvieron del IHCAFE. El IHCAFE a través del PAEPC pone a disposición del público las estadísticas cafetaleras desde la cosecha 1999-2000 a la actualidad. La recolección de la información es a nivel Municipal y Departamental la cual contiene el número de productores, área de café productivo y producción de café cosechado. Para el presente estudio se utilizaron datos de área y producción de café a nivel departamental.

El sector cafetalero en Honduras cuenta con decreto de ley para la reactivación de la caficultura del país, el cual contempla la creación de un mecanismo de Fideicomiso Cafetalero. El IHCAFE es el fideicomitente de este Fideicomiso por lo que es el responsable de la administración de los recursos en coordinación con los entes contralores del estado de Honduras⁸. Este mecanismo permite a los productores de café el acceso al financiamiento en la banca privada y estatal, utilizando como garantía la retención de \$9.00 por quintal vendido en cada año cosecha⁹. El IHCAFE devuelve un fideicomiso al productor de 9 dólares por cada quintal producido por lo tanto el productor reporta la cosecha real que vende.

El IHCAFE le entrega al intermediario un talonario con recibos originales y copias, el intermediario cuando le compra el café al productor le llena un recibo original con su copia con la cantidad real de café que le compra al productor, luego llena otro recibo que le queda al intermediario con su copia. Luego tanto el intermediario como el productor le entregan al IHCAFE el recibo original. El IHCAFE compara los recibos para verificar la información. El recibo contiene datos generales del productor, manzanas productivas y cantidad de quintales oro que entrega, por lo tanto el área y producción son datos confiables (Anexo 8). La parte técnica del IHCAFE hace una encuesta por productor para estimar la producción de cosecha de café, esta la realiza en todas las zonas cafetaleras (Anexo 7).

⁸ Disponible en: http://www.ihcafe.hn/index.php?option=com_content&view=article&id=127&Itemid=183

⁹ Informe anual cosecha 2008-2009 del IHCAFE

3.2 Nivel de productores de café

Se seleccionaron dos cooperativas COMICAOL y COMIPIL que trabajaron con el proyecto de Innovaciones de café. Los productores de estas cooperativas se encuentran ubicados en los municipios de El Paraíso y Alauca los cuales pertenecen al departamento de El Paraíso (Figura 11). El municipio de El Paraíso de acuerdo a SISCA (2007) citado por Banegas (2009) cuenta con una extensión territorial de 415.8 km² y limita al al norte con los municipios de San Matías y Danlí, al sur con Nicaragua, al este con Danlí y al oeste con Alauca. Presentan un rango altitudinal que va desde los 700 a los 1,500 msnm y se caracteriza por tener un clima tropical húmedo, con precipitaciones anuales que oscilan entre 1,100 a 2,100 mm. La época seca se encuentra en los meses de enero a Mayo.

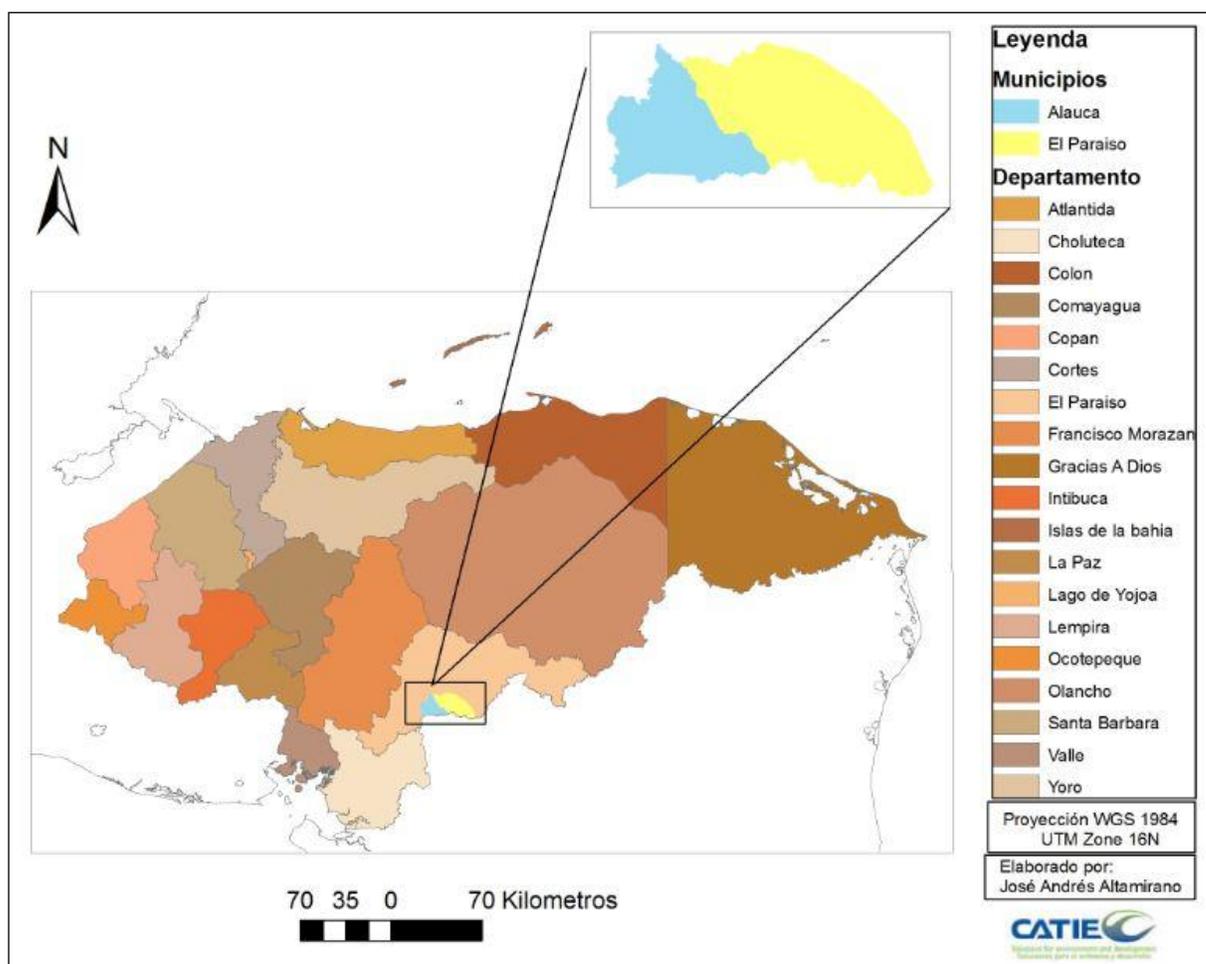


Figura 11. Mapa de ubicación de la zona de estudio a nivel de productores.

El Municipio de Alauca tiene una extensión territorial de 170.1 km² y limita al norte con el municipio de San Matías, al oeste con los municipios de Yuscarán y Oropolí, al sur con la con la República de Nicaragua y al este con el municipio de El Paraíso. El punto de mayor elevación se encuentra a los 1,460 msnm y la parte más baja a 340 msnm. La estación meteorológica más cercana que cuenta con datos históricos en la zona es la estación de Oropolí a unos 15 km de distancia, dicha estación lleva registros de 1972 a 1985 y se presentan como referencia. La temperatura oscila entre los 18°C y 34°C con un promedio de 26°C. La precipitación promedio anual observada para el período 1972-1985 en el municipio de Oropolí fue de 924 mm. En el municipio de Alauca se distingue una estación seca comprendida de noviembre a mayo y una estación lluviosa de junio a octubre. En la zona alta de montaña, donde la precipitación es mayor, la estación lluviosa inicia en mayo (Municipalidad de Alauca 2004).

Para los análisis a nivel de productor se utilizaron dos bases de datos, una que cuenta con registros de siete ciclos de cosecha de café (2003-2004 al ciclo 2009-2010), y una segunda base de datos de registro de cinco ciclos de producción (2005-2006 al 2009-2010) en donde se registra área, producción y prácticas de manejo de pre cosecha.

3.2.1 Productores de café ciclo de cosecha 2005-2006 al 2009-2010

El proyecto de Innovaciones de café en el ciclo de cosecha 2005-2006 levantó una línea base a través de un diagnóstico agroecológico de café para El Paraíso en Honduras. Para la línea base se registraron datos de 20, 10 y 20 productores de COMICAOL, COMUEL e IHCAFE (COMIPIL) respectivamente para un total de 50 productores. Para este estudio se programó trabajar con datos de los 50 productores en los 5 años del proyecto para un total de 250 observaciones bajo el supuesto que los registros de los productores eran constantes en el tiempo. Lo anterior en lo práctico no sucedió, para COMUEL no se tenían registrados algunos años así que se tomó la decisión de no tomarlo en cuenta en el estudio y se decidió trabajar con COMIPIL y COMICAOL asumiendo que estos no tenían todos los productores constantes en el tiempo se trabajó con un total de 188 observaciones (Cuadro 5), tomando en cuenta que se dieron ingresos y retiros de productores en el proyecto a través de los 5 años. Para esta base de datos de 5 años se utilizaron las variables de producción, área y datos de prácticas de manejo de pre cosecha.

Cuadro 5. Número de productores por ciclo de cosecha (2005-2006 al 2009-2010)

| Ciclo de cosecha | COMICAOL (n) | COMIPIL (n) | Total |
|---------------------|--------------|-------------|-------|
| 2005-2006 | 19 | 10 | 29 |
| 2006-2007 | 7 | 21 | 28 |
| 2007-2008 | 15 | 23 | 38 |
| 2008-2009 | 26 | 20 | 46 |
| 2009-2010 | 23 | 24 | 47 |
| Total observaciones | 91 | 98 | 188 |

Observación: Productores con registros de 1 a 5 ciclos de cosecha.

3.2.2 Productores de café ciclo de cosecha 2003-2004 al 2009-2010

En el diagnóstico agroecológico realizado en el ciclo de cosecha 2005-2006 se le preguntó a los productores la producción de café de dos ciclos anteriores, siendo estos el ciclo 2003-2004 y 2004-2005, con esta información se completó una serie de datos de siete ciclos productivos que va del ciclo 2003-2004 al 2009-2010 para un total de 239 observaciones (Cuadro 6, Anexo 9 y 10).

Cuadro 6. Número de productores por ciclo de cosecha (2003-2004 al 2009-2010)

| Ciclo de cosecha | COMICAOL (n) | COMIPIL (n) | Total |
|---------------------|--------------|-------------|-------|
| 2003-2004 | 18 | 5 | 23 |
| 2004-2005 | 20 | 8 | 28 |
| 2005-2006 | 19 | 10 | 29 |
| 2006-2007 | 7 | 21 | 28 |
| 2007-2008 | 15 | 23 | 38 |
| 2008-2009 | 26 | 20 | 46 |
| 2009-2010 | 23 | 24 | 47 |
| Total observaciones | 128 | 111 | 239 |

Observación: Productores con registros de 1 a 7 ciclos de producción

3.2.3 Fuentes de la información meteorológica para análisis a nivel de productores de El Paraíso

A nivel de productores para la serie de datos de cinco y siete ciclos productivos se utilizaron datos de precipitación de la estación meteorológica de San Lucas por contar con serie de datos completos. Para la variable temperatura no se pudo conseguir serie de datos completos de estaciones meteorológicas. Se tenía como posibilidad utilizar el Grid-Extractor para la variable temperatura pero no se utilizó debido a que el Grid-Extractor genera datos de 1979 al año 2008 y los registros de producción y manejo proporcionados por el proyecto son con series de años 2003-2009 y 2005-2009 por lo tanto se tenía que eliminar el año 2009 reduciendo las series de registros a 6 y 4 años, lo cual afectaría los resultados. En el Cuadro 7 se presenta la información general de la estación meteorológica de San Lucas. En el Anexo 11 se presenta los datos de precipitación registrados por la estación San Lucas.

Cuadro 7. Estación meteorológica utilizada a nivel de productores de El Paraíso

| Estación | Variable | Código | Pertenece | Tipo | Altitud | X | Y |
|-----------|---------------|--------|-----------|------|---------|--------|---------|
| San Lucas | Precipitación | 56015 | SERNA | PV | 1250 | 504942 | 1518841 |

3.3 Variables utilizadas en el estudio

3.3.1 Variable dependiente

A nivel de departamento y productores la variable dependiente a explicar en el estudio es la productividad, que se calculó dividiendo la producción (kg de café oro por año) entre el área (ha), obteniendo la unidad de medida de kilogramos por hectárea por año ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$).

3.3.2 Variables independientes

En las variables independientes se tienen dos grupos; variables exógenas¹⁰ (temperatura y precipitación) y variables endógenas¹¹ (prácticas de manejo de pre cosecha en café).

¹⁰ Las variables exógenas se utilizaron a nivel de departamentos y productores

¹¹ Las variables endógenas se utilizaron sólo a nivel de productor ciclo productivo 2005-2006 al 2009-2010

3.3.2.1 Variables exógenas

Las variables que se utilizaron son las temperaturas medias mensual y la precipitación mensual, con estas se obtuvieron variables de acuerdo a la fenología del cultivo y las precipitaciones y temperaturas anuales. La precipitación anual se calculó en base a la suma de las precipitaciones que se dan en los 12 meses del año, para la temperatura anual en base al promedio de las temperaturas de los 12 meses del año. La agrupación de las variables climáticas de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo de café se realizó tomando en cuenta la descripción de las etapas fenológicas presentadas por el IHCAFE (2001b). Los meses que se toman en cuenta para cada una de las etapas se presentan en la Figura 12.

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  |
| Pre-floración | Formación y llenado del grano | Maduración del grano |
| Marzo-Abril | Mayo-October | Noviembre-Diciembre |

Figura 12. Meses que se tomaron en cuenta para agrupar las variables climáticas de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo.

Para calcular las precipitaciones en cada una de las etapas del cultivo de café es en base a la suma de los meses contenidas en cada etapa y para en el caso de las temperaturas se calcula el promedio de los meses contenidos en cada etapa. De la figura anterior surgieron las variables de acuerdo a la fenología utilizadas en el estudio (Cuadro 8).

Cuadro 8. Variables climáticas utilizadas en el estudio

| Variables | Unidad de medida | Código |
|-----------------------------------------------------------|---------------------|-----------|
| Precipitación en la etapa de prefloración y floración | Milímetros (mm) | preflo_pp |
| Precipitación en la etapa de llenado del grano | Milímetros (mm) | llena_pp |
| Precipitación en la etapa de maduración del grano | Milímetros (mm) | mad_pp |
| Temperatura media en la etapa de prefloración y floración | Grados Celsius (°C) | preflo_t |
| Temperatura media en la etapa de llenado del grano | Grados Celsius (°C) | llena_t |
| Temperatura media en la etapa de maduración del grano | Grados Celsius (°C) | mad_t |
| Temperatura media anual | Grados Celsius (°C) | tanual |
| Precipitación anual | Milímetros (mm) | panual |

3.3.2.2 Variables endógenas

Las variables endógenas utilizadas en el estudio son las relacionadas con las prácticas de manejo pre cosecha que hacen los productores a sus plantaciones de café, estas variables se registraron por parte del proyecto de innovaciones entre el ciclo de cosecha 2005-2006 al ciclo 2009-2010. Entre las prácticas de manejo pre cosecha registradas por el proyecto están:

- a) Aplicación de fungicidas.
- b) Aplicación de abono convencional.
- c) Aplicación de abono orgánico.
- d) Aplicación de foliar.
- e) Siembra de café.
- f) Regulación de sombra (podas).
- g) Poda total (recepto).
- h) Poda sanitaria.

De las prácticas de manejo pre cosecha antes mencionadas se seleccionaron las siguientes para analizar en el estudio (Cuadro 9).

Cuadro 9. Prácticas pre cosecha evaluadas en el estudio

| No | Práctica pre cosecha | Unidad de medida |
|----|-----------------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Aplicación de fertilizante convencional | kilogramo por hectárea al año |
| 2 | Poda sanitaria | Jornales por hectárea al año |
| 3 | Regulación de sombra | Jornales por hectárea al año |

No se seleccionó la poda total o recepto porque al podar una planta tiene que pasar tres años para que produzca café por lo tanto el efecto es a largo plazo, lo mismo con la resiembra de árboles de café, si se siembra un árbol de café tiene que pasar tres años para que este de producción y la base de datos que se tiene es limitada apenas cuenta con 5 años por lo tanto es poco probable poder identificar un efecto de estas variables sobre la producción. Para los manejos aplicación de abono orgánico, aplicación de fungicida y foliar no se tomaron en cuenta por contar con pocas observaciones (Anexo 12).

3.3.2.2.1 Aplicación de fertilizantes convencional

Lo importante en la fertilización es brindar a la planta una nutrición correcta que le permita una mayor resistencia a las enfermedades y una condición nutricional óptima para la producción de un volumen importante de frutos de buena calidad (Monge 1999). Entre los productos fertilizantes que más utilizan los productores evaluados en el estudio están las fórmulas 18-06-12, 18-46-00 y Urea.

3.3.2.2.2 Poda sanitaria

La poda de café es fundamental dentro de las prácticas del manejo del cultivo para asegurar abundantes cosechas que permitan al caficultor una alta rentabilidad a largo plazo. Entre los objetivos de la poda están; renovar tejido productivo, estimular la producción por la mayor entrada de luz a las plantas con exceso de auto sombreado, mantener una adecuada relación cosecha/follaje, disminuir las condiciones favorables para las plagas y las enfermedades, eliminar el tejido dañado por enfermedades y otras causas y evitar muerte descendente en ramas primarias y raíces (IHCAFE 2001a).

3.3.2.2.3 Regulación de sombra en cafetales

El empleo de árboles de sombra es clave para favorecer la productividad del café. El uso y manejo apropiado de los árboles de sombra tiene por objeto evitar extremos que son perjudiciales; así por ejemplo, una sombra excesiva afecta o limita la producción y un exceso de sol acorta la vida productiva de la plantación y demanda mayor uso de insumos (FHIA 2004). El árbol de sombra en cafetales necesita podarse debido a que el sombrero incide en la floración del café así como la maduración del grano.

3.4 Análisis estadístico

3.4.1 Modelos econométricos de regresión múltiples para datos de panel

Para determinar el efecto en la variable dependiente en función de las variables independientes a través del tiempo se utilizaron modelos econométricos, debido a que los datos a nivel de productor y de departamento no son constantes en el tiempo se trataron los datos como datos de Panel y el método utilizado fue el Mínimo Cuadrado Ordinario (MCO).

El análisis con datos de panel es una combinación de datos de corte transversal y series temporales. Un conjunto de datos de corte transversal es una muestra compuesta por individuos, familias, empresas, ciudades, estados, países u otro tipo de unidades muy variadas recogidas en un momento determinado. En ocasiones, los datos de cada unidad no son exactamente del mismo periodo de tiempo. Por ejemplo, podrían hacerse encuestas a diversas familias durante semanas distintas en un mismo año. Un conjunto de datos que recoge observaciones de un fenómeno a lo largo del tiempo se conoce como serie temporal. Dichos conjuntos de datos están ordenados y la información relevante respecto al fenómeno estudiado es la que proporciona su evolución en el tiempo (Wooldridge 2006)

Se dice que un conjunto de datos es de panel cuando se tienen observaciones de series temporales sobre una muestra de unidades individuales. Es decir, un conjunto de individuos son observados en distintos momentos en el tiempo. Digamos que para una variable y_{it} se tiene $i=1, \dots, N$ observaciones de corte transversal y $t = 1, \dots, T$ observaciones de series temporales. Algunas veces i denota países, regiones o sectores industriales en cuyo caso N es relativamente pequeño, mientras que T es grande. Sin embargo en un típico panel de familias o empresas la situación es la contraria. T puede ser tan pequeña como como 3,4 ó 5 mientras que N se refiere a cientos o miles de individuos (Arellano y Bover 1990). Los datos en panel suponen, e incorporan en el análisis, el hecho de que los individuos, firmas, bancos o países son heterogéneos. Los análisis de series de tiempo y de corte transversal no tratan de controlar esta heterogeneidad corriendo el riesgo de obtener resultados sesgados (Mayorga y Muñoz 2000).

Las funciones utilizadas a nivel de departamento son las siguientes:

a) $Y = F(\text{tanual}, \text{panual})$

b) $Y = F(\text{preflo_pp}, \text{llena_pp}, \text{mad_pp}, \text{preflo_t}, \text{llena_t}, \text{mad_t})$

Las funciones utilizadas a nivel de productores ciclo 2003-2004 al 2009-2010 son las siguientes:

a) $Y = F(\text{tanual}, \text{panual})$

b) $Y = F(\text{preflo_pp}, \text{llena_pp}, \text{mad_pp}, \text{preflo_t}, \text{llena_t}, \text{mad_t})$

Las funciones utilizadas a nivel de productores ciclo 2005-2006 al 2009-2010 son las siguientes:

a) $Y = F(\text{tanual}, \text{panual}, \text{fertilización}, \text{regulación de sombra}, \text{poda sanitaria})$

b) $Y=F(\text{preflo_pp}, \text{llena_pp}, \text{mad_pp}, \text{fertilización}, \text{regulación de sombra}, \text{poda sanitaria})$

La variable Y es la productividad ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$), el significado del resto de variables contenidas en las funciones antes mencionadas se presentan en el Cuadro 9.

Los modelos miden el efecto de las variables independientes sobre la dependiente en un periodo determinado. Este tipo de modelos se realizaron a nivel de departamentos y productores tomando en cuenta la fenología del cultivo, agrupación de temperatura y precipitación anual, así como el efecto de las prácticas pre cosecha seleccionada. A continuación se da la descripción general del modelo¹²:

$$Y_{it} = \delta_1 + \delta_2 d2_t + \delta_3 d3_t + \dots + \beta_0 + \beta_1 X_{it1} + \dots + \beta_k X_{itk} + a_i + u_{it},$$

Dónde:

Y : Variable dependiente (productividad)

t : 1, 2, ..., n (cada periodo de tiempo)

i : Cada una de las observaciones (dato transversal)

$d2_t$: Variable dummy que vale 0 cuando t : 1

X : Variable independiente

β_0 : Parámetro de término constante

β_1 : Parámetro asociado a X_1

a_i : Efecto fijo, error no observable, capta todos los factores no observados que no cambian en el tiempo pero que afectan a Y_{it}

u_{it} : Término de error idiosincrático o error que cambia en el tiempo porque presenta a factores no observados que cambian en el tiempo y que afecta a Y_i

3.4.2 *Análisis de correlación lineal de Pearson*

Se realizaron correlaciones de Pearson a nivel de departamento para determinar intensidad y dirección de las relaciones entre la productividad y variables climáticas. El Análisis de Correlación lineal tiene como interés principal el medir la asociación entre dos variables aleatorias cuantitativas, sin necesidad de distinguir variables dependientes e

¹² Modelos econométricos de Panel (Wooldridge 2006)

independientes. Enfatiza la forma en que se comporta una variable en relación a la otra y medir la intensidad de esta asociación (Di Rienzo *et al.* 2008).

3.5 Software utilizado para el análisis de los datos

Los programas utilizados para los análisis estadísticos fueron el InfoStat versión 2010. Las bases de datos se realizaron en hojas de cálculos de Excel. Para los modelos econométricos se utilizó el software STATA versión 10.

4 RESULTADOS

4.1 Nivel de departamentos

4.1.1 Precipitación, temperatura y productividad

La productividad entre los departamento varia encontrándose menores valores en los departamentos de Olancho, Yoro y Cortés ubicándose estos en la zona Orientan y Norte del país y los mayores valores de productividad se presentaron en los departamentos de Intibucá, Lempira, Copán y Ocotepeque los cuales están ubicados en la zona Occidental, es de notar que la productividad se ve incrementada al pasar de la zona Oriental a la zona Occidental. Al igual que la productividad las precipitaciones se ven incrementadas al pasar de la zona Oriental a la Occidental y en el caso de las temperaturas sucede lo contrario a medida que pasa de la zona Oriental a la zona Occidental las temperaturas se van disminuyendo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Valor promedio de 10 años de datos de las variables producción, hectárea, productividad, precipitación y temperatura anual en los departamentos de Honduras

| Zona | Departamento | n | kg | ha | kg ha ⁻¹ año ⁻¹ | panual | tanual |
|------------|-------------------|----|------------|--------|---------------------------------------|--------|--------|
| Central | Comayagua | 10 | 24,983,814 | 27,785 | 894 | 1,090 | 22.17 |
| Occidental | Copán | 10 | 25,599,972 | 24,811 | 1,030 | 1,688 | 22.19 |
| Norte | Cortés | 10 | 3,518,597 | 6,959 | 499 | 1,215 | 27.28 |
| Oriental | El Paraíso | 10 | 26,543,173 | 46,933 | 562 | 1,172 | 24.22 |
| Central | Francisco Morazán | 10 | 3,865,266 | 7,114 | 541 | 1,181 | 22.55 |
| Occidental | Intibucá | 10 | 7,339,486 | 7,760 | 939 | 1,504 | 17.74 |
| Occidental | Lempira | 10 | 17,710,875 | 17,985 | 979 | 1,961 | 20.06 |
| Occidental | Ocotepeque | 10 | 12,512,165 | 9,840 | 1,247 | 1,652 | 21.47 |
| Oriental | Olancho | 10 | 8,844,018 | 25,079 | 347 | 1,186 | 24.76 |
| Occidental | Santa Bárbara | 10 | 24,189,822 | 38,862 | 621 | 1,201 | 24.83 |
| Norte | Yoro | 10 | 4,994,770 | 13,201 | 380 | 1,886 | 24.02 |

En los años 2000, 2002 y 2004 se presentaron los menores valores de productividad promedio tomando en cuenta los 11 departamentos con valores de 619, 646 y 648 kg ha⁻¹año⁻¹ y en el año 2007 se presentó el mayor valor de productividad con 813 kg ha⁻¹año⁻¹ de café, tomando en cuenta los valores promedio observamos que a partir del año 2000 al 2005 los valores incrementan y disminuyen al pasar de un año a otro presentando un patrón de bianualidad y a partir del año 2005 se deja de notar el patrón de bianualidad y comienza a incrementar la productividad de manera constante hasta el año 2007 y tiende a disminuir en el 2008 (Cuadro 11 y Anexo13).

Cuadro 11. Productividad (kg ha-1 año-1) registrada en los departamentos seleccionados

| Departamento | Media | CV | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|-------------------|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Comayagua | 893.6 | 12.56 | 852 | 749 | 907 | 724 | 925 | 793 | 931 | 1035 | 977 | 1043 |
| Copán | 1030.2 | 9.76 | 903 | 882 | 1089 | 951 | 1044 | 1053 | 992 | 1135 | 1202 | 1051 |
| Cortés | 499.7 | 16.76 | 646 | 496 | 518 | 489 | 571 | 363 | 561 | 386 | 495 | 472 |
| El Paraíso | 561.9 | 17.59 | 599 | 520 | 509 | 444 | 614 | 382 | 687 | 605 | 686 | 573 |
| Francisco Morazán | 541.3 | 15.84 | 567 | 457 | 468 | 492 | 594 | 391 | 614 | 603 | 560 | 667 |
| Intibucá | 939.3 | 14.44 | 935 | 732 | 1079 | 794 | 1075 | 823 | 829 | 1091 | 1054 | 981 |
| Lempira | 979.3 | 10.92 | 1027 | 768 | 1103 | 894 | 1006 | 991 | 850 | 1061 | 1057 | 1036 |
| Ocatepeque | 1246.9 | 12.51 | 1001 | 1037 | 1276 | 1169 | 1435 | 1291 | 1133 | 1413 | 1409 | 1305 |
| Olancho | 347.3 | 21.35 | 432 | 313 | 317 | 292 | 403 | 214 | 447 | 289 | 397 | 369 |
| Santa Bárbara | 621.4 | 13.38 | 759 | 552 | 684 | 529 | 583 | 508 | 596 | 613 | 688 | 702 |
| Yoro | 380.4 | 15.03 | 392 | 305 | 387 | 323 | 347 | 321 | 405 | 418 | 414 | 492 |
| Promedio | | | 738 | 619 | 758 | 646 | 782 | 648 | 731 | 786 | 813 | 790 |

Observación: El año 1999 corresponde al ciclo de cosecha 1999-2000 y el año 2000 al ciclo de cosecha 2000-2001 y así sucesivamente para el resto de años.

En la Figura 13 se presenta la temperatura anual y la productividad en los diferentes departamentos, se puede apreciar que entre 24 y 28°C se registran productividades por abajo de los 800 kg de café. El departamento de Ocatepeque es el que presenta mayor productividad por arriba de 900 kg con temperaturas que andan en rangos de 19.5 y 23.5°C, para los departamentos de Lempira y Copán anda en rangos entre 17 y 21.5°C con productividad por arriba de los 600 kg. Los departamentos de Francisco Morazán, Comayagua y Copán presentan rangos de temperatura entre 21.5 y 23°C con diferentes rangos de productividad lo que indica que existen otros factores como tipo de sitio, suelo o manejo del cultivo que está incidiendo en la productividad a parte de la temperatura.

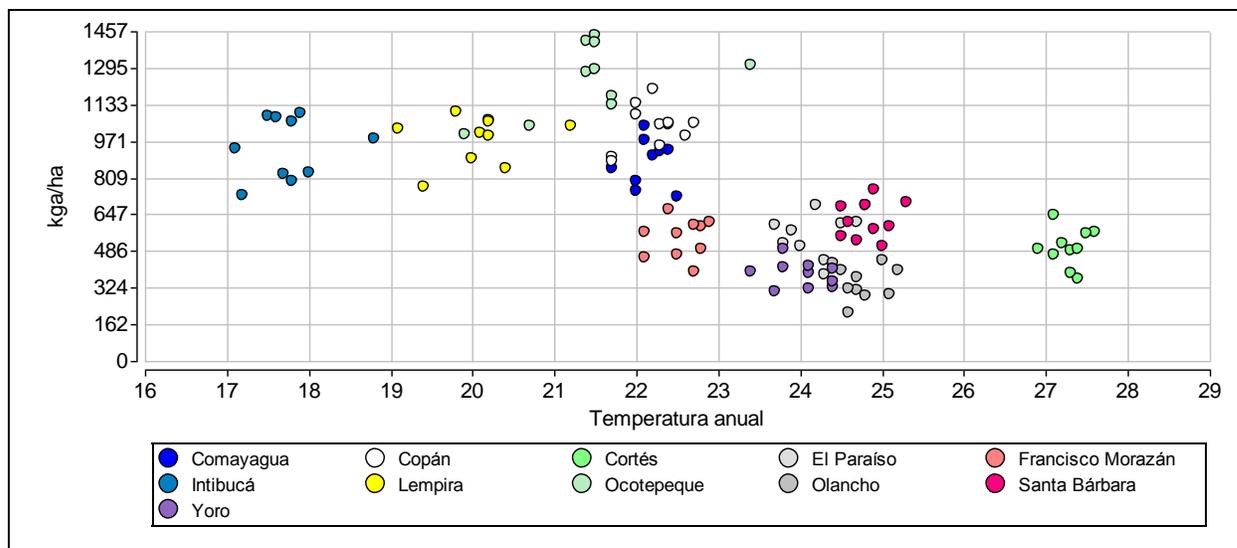


Figura 13. Productividad y temperatura anual en los departamentos

En el Cuadro 12 se observa que el departamento de Cortés es el que presentó el mayor valor promedio de temperatura media anual con 27.8°C y el departamento de Intibucá el departamento con menor valor de temperatura con 17.74°C. Es de notar que para cada departamento las diferencias de temperatura entre los años son casi similares con cambios mínimos, el año con menores valores de temperatura tomando en cuenta el promedio de los 11 departamentos fue el año 1999 y el año con mayor temperatura fue el 2008.

Cuadro 12. Temperatura anual registrada en los departamentos

| Departamento | Media | CV | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|-------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Comayagua | 22.17 | 1.09 | 21.70 | 21.97 | 22.20 | 22.52 | 22.27 | 22.05 | 22.37 | 22.12 | 22.06 | 22.36 |
| Copán | 22.19 | 1.54 | 21.72 | 21.73 | 22.01 | 22.25 | 22.27 | 22.44 | 22.60 | 22.03 | 22.23 | 22.71 |
| Cortés | 27.28 | 0.77 | 27.14 | 26.94 | 27.17 | 27.26 | 27.62 | 27.40 | 27.49 | 27.34 | 27.42 | 27.14 |
| El Paraíso | 24.22 | 1.54 | 23.72 | 23.84 | 24.01 | 24.27 | 24.74 | 24.30 | 24.78 | 24.46 | 24.19 | 23.91 |
| Francisco Morazán | 22.55 | 1.26 | 22.09 | 22.13 | 22.46 | 22.83 | 22.83 | 22.66 | 22.92 | 22.72 | 22.49 | 22.39 |
| Intibucá | 17.74 | 2.66 | 17.14 | 17.23 | 17.54 | 17.83 | 17.63 | 17.71 | 17.96 | 17.87 | 17.80 | 18.76 |
| Lempira | 20.06 | 2.83 | 19.12 | 19.37 | 19.83 | 20.03 | 20.08 | 20.21 | 20.36 | 20.23 | 20.16 | 21.16 |
| Ocatepeque | 21.47 | 4.08 | 19.89 | 20.68 | 21.36 | 21.69 | 21.46 | 21.55 | 21.74 | 21.42 | 21.50 | 23.38 |
| Olancho | 24.76 | 1.06 | 24.40 | 24.66 | 24.58 | 25.12 | 25.24 | 24.61 | 25.00 | 24.76 | 24.48 | 24.67 |
| Santa Bárbara | 24.83 | 1.06 | 24.89 | 24.46 | 24.51 | 24.69 | 24.93 | 24.96 | 25.08 | 24.60 | 24.81 | 25.25 |
| Yoro | 24.02 | 1.41 | 23.36 | 23.68 | 24.07 | 24.36 | 24.37 | 24.07 | 24.37 | 24.10 | 23.85 | 23.78 |
| promedio | | | 22.29 | 22.43 | 22.70 | 22.99 | 23.04 | 22.91 | 23.15 | 22.88 | 22.82 | 23.23 |

En la Figura 14 se aprecia que en departamentos como Comayagua, Santa Bárbara, Olancho, Francisco Morazán andan en rangos similares de precipitación sin embargo presentan diferentes rangos de productividad lo que podría estar asociado a otros variables.

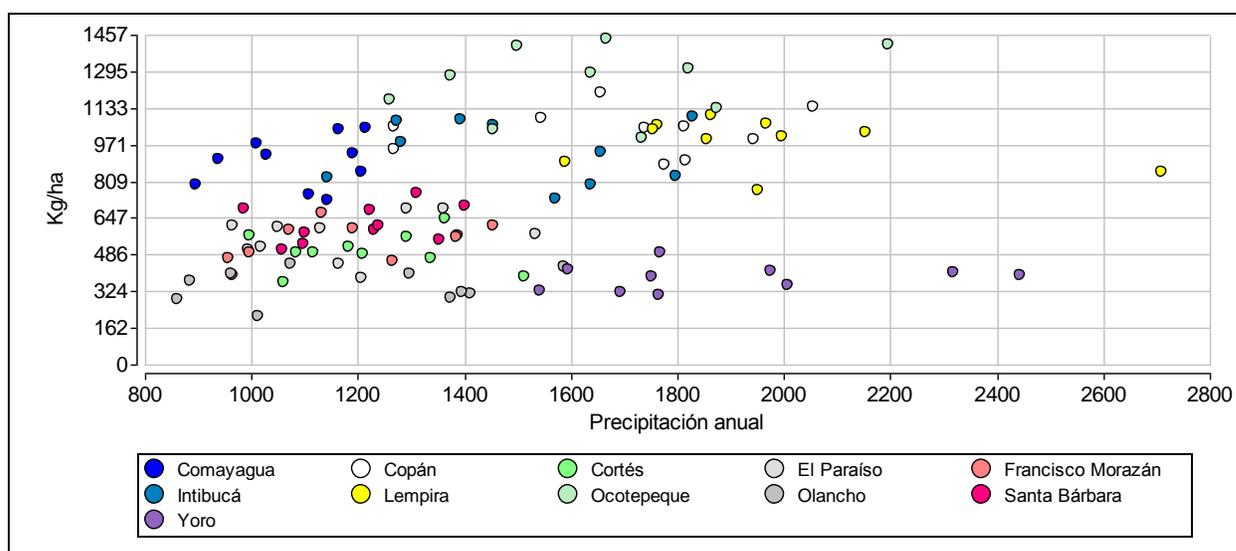


Figura 14. Productividad y precipitación anual en los departamentos

Los valores promedios de precipitación anual tomando en cuenta los 10 años andan entre 1,090 mm en el departamento de Comayagua y 1,961 mm. Los años 2002 y 2004 presentaron los menores registros de precipitación y el año 1999 y 2005 presentaron los mayores valores de precipitación (Cuadro 13).

Cuadro 13. Precipitación anual registrada en los departamentos

| Departamento | Media | CV | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Comayagua | 1090 | 10.6 | 1207 | 1109 | 937 | 1142 | 1028 | 897 | 1192 | 1165 | 1009 | 1216 |
| Copán | 1688 | 15.5 | 1815 | 1776 | 1544 | 1269 | 1739 | 1268 | 1943 | 2055 | 1657 | 1812 |
| Cortés | 1215 | 13.2 | 1364 | 1116 | 1184 | 1209 | 996 | 1060 | 1291 | 1514 | 1084 | 1336 |
| El Paraíso | 1172 | 15.5 | 1130 | 1019 | 993 | 1165 | 966 | 1206 | 1293 | 1049 | 1360 | 1535 |
| Francisco Morazán | 1181 | 15.8 | 1388 | 1266 | 956 | 997 | 1072 | 966 | 1453 | 1192 | 1386 | 1132 |
| Intibucá | 1504 | 15.4 | 1656 | 1572 | 1392 | 1637 | 1274 | 1143 | 1798 | 1828 | 1454 | 1281 |
| Lempira | 1961 | 15.6 | 2155 | 1951 | 1863 | 1590 | 1997 | 1855 | 2710 | 1968 | 1763 | 1755 |
| Ocotepeque | 1652 | 16.6 | 1733 | 1455 | 1374 | 1261 | 1666 | 1639 | 1875 | 2195 | 1500 | 1822 |
| Olancho | 1186 | 21.6 | 1586 | 1411 | 1395 | 1375 | 1297 | 1014 | 1075 | 860 | 962 | 886 |
| Santa Bárbara | 1201 | 11.3 | 1311 | 1354 | 1224 | 1098 | 1100 | 1059 | 1231 | 1239 | 987 | 1402 |
| Yoro | 1886 | 15.9 | 2443 | 1765 | 1751 | 1542 | 2008 | 1694 | 2319 | 1596 | 1975 | 1769 |
| Promedio | 1431 | | 1617 | 1436 | 1328 | 1299 | 1377 | 1255 | 1653 | 1515 | 1376 | 1450 |

4.1.2 Efecto de la temperatura y precipitación anual sobre la productividad

El Cuadro 14 presenta los resultados de la modelación de la productividad de café en función de la precipitación y temperatura anual en un periodo de 10 años tomando en cuenta datos de los 11 departamentos de Honduras seleccionados en el estudio. Para la variable precipitación anual presentó una relación directa positiva con la productividad pero no significativa ($p=0.298$) lo que indica que los cambios de precipitación no han tenido efecto negativo en la productividad. Para la variable temperatura anual presentó una relación directa con coeficiente positivo de 61.32 siendo esta significativa ($p=0.011$) lo que indica que los cambios de temperatura anual comprendidos entre el ciclo 1999-2000 al ciclo 2008-2009 han tenido efecto positivo sobre la productividad, a medida que incrementa la temperatura en dicho ciclo se ve favorecida la productividad, sin embargo este efecto es leve debido a que el modelo presentó bondad de ajuste (R^2) de 0.07 lo que nos dice que el 7% de la variación en la productividad esta explicada por el modelo en este caso por las variables independientes y el restante por otros factores.

Cuadro 14. Efectos de la precipitación y temperatura anual en la productividad de café con datos departamentales de Honduras de 1999-2008

| Productividad ($\text{kg ha}^{-1}\text{año}^{-1}$) | Coficiente | Std. Err. | $P> t $ |
|------------------------------------------------------|------------|-----------|----------------|
| Precipitación anual (mm) | 0.046 | 0.04 | 0.298 |
| Temperatura anual ($^{\circ}\text{C}$) | 61.32 | 23.65 | 0.011** |
| Constante | -736.21 | 548.33 | 0.183 |
| Bondad de ajuste $R^2 = 0.07$ | | | |

Observación: Modelo regresión múltiple datos panel. 110 observaciones, $\alpha = 95\%$ de confianza, ** significativo al 5%.

4.1.3 Efecto de la temperatura y precipitación que se dan en las etapas fenológicas sobre la productividad

El Cuadro 15 presenta los resultados de la modelación de la productividad de café en función de la precipitación y temperatura registradas en las diferentes etapas fenológicas del cultivo tomando en cuenta un período de 10 años. Para la variable precipitación registrada en la etapa de prefloración-floración presento relación negativa, la variable maduración y llenado del grano presentaron relación positiva con la productividad pero ambas variables no resultaron significativas. Para la variable temperatura registrada en la etapa de prefloración-floración y en la etapa de maduración del grano no presentaron efecto significativo sobre la productividad de café, sin embargo la temperatura registrada en la etapa llenado del grano presentó efecto significativo sobre la productividad ($p=0.022$) lo que indica que los cambios de temperatura comprendido entre el ciclo de cosecha 1999-2000 al 2009-2010 a favorecido la productividad al darse incrementos de la temperatura, sin embargo este efecto es leve debido a que el R^2 que presentó el modelo fue de 0.10 lo que nos dice que el 10% de la variación en la productividad esta explicada por las variables independientes y el restante por otros factores.

Cuadro 15. Efecto en la productividad del café en función de la precipitación y temperatura registradas en las etapas fenológicas del cultivo en un periodo de 10 años con datos departamentales

| Productividad (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) | Coefficiente | Std. Err. | P> t |
|--------------------------------------------------------|--------------|-----------|----------------|
| Precipitación en la etapa de prefloración-floración | -0.10 | 0.26 | 0.696 |
| Precipitación en la etapa de llenado del grano | 0.02 | 0.05 | 0.623 |
| Precipitación en la etapa de maduración del grano | 0.01 | 0.18 | 0.930 |
| Temperatura en la etapa de prefloración-floración | 10.33 | 19.01 | 0.588 |
| Temperatura en la etapa de llenado del grano | 87.04 | 37.36 | 0.022** |
| Temperatura en la etapa de maduración del grano | -22.72 | 14.60 | 0.123 |
| Constante | -1145.21 | 652.10 | 0.082 |
| Bondad de ajuste $R^2 = 0.10$ | | | |

Observación: Modelo regresión múltiple datos panel. 110 observaciones, $\alpha = 95\%$ de confianza, ** significativo al 5%.

4.1.4 Correlación entre la precipitación anual y precipitación registrada en las diferentes etapas fenológicas del café con la productividad

La precipitación anual y las precipitaciones registradas en las diferentes etapas fenológicas del cultivo del café no presentaron correlación significativa con la productividad en los 11 departamentos evaluados (Cuadro 16).

Cuadro 16. Correlaciones de la precipitación anual y precipitación registrada en las diferentes etapas fenológicas del café con la productividad

| Departamento | ppanual | | preflo_pp | | llena_pp | | mad_pp | |
|-------------------|---------|------|-----------|------|----------|------|--------|------|
| | r | p | r | p | r | p | r | p |
| Comayagua | 0.22 | 0.54 | 0.16 | 0.65 | 0.35 | 0.32 | -0.47 | 0.17 |
| Copán | 0.05 | 0.88 | 0.23 | 0.52 | 0.004 | 0.99 | 0.20 | 0.58 |
| Cortés | -0.04 | 0.91 | -0.02 | 0.96 | -0.05 | 0.89 | 0.15 | 0.68 |
| El Paraíso | 0.22 | 0.54 | -0.31 | 0.38 | 0.25 | 0.49 | 0.20 | 0.58 |
| Francisco Morazán | 0.48 | 0.16 | -0.42 | 0.23 | 0.51 | 0.13 | -0.01 | 0.97 |
| Intibucá | -0.13 | 0.72 | -0.30 | 0.40 | -0.06 | 0.88 | -0.03 | 0.93 |
| Lempira | -0.32 | 0.37 | 0.29 | 0.42 | -0.38 | 0.28 | 0.12 | 0.74 |
| Ocotepeque | 0.25 | 0.49 | 0.49 | 0.15 | 0.20 | 0.59 | 0.30 | 0.40 |
| Olancho | 0.17 | 0.64 | -0.36 | 0.30 | 0.22 | 0.54 | 0.13 | 0.71 |
| Santa Bárbara | 0.36 | 0.31 | -0.07 | 0.85 | 0.32 | 0.36 | 0.05 | 0.89 |
| Yoro | 0.20 | 0.57 | 0.14 | 0.70 | 0.43 | 0.21 | -0.37 | 0.30 |

*probabilidad ($p \leq 0.05$) indica correlación entre variables. r: Coeficiente de Pearson. Precipitación anual (ppanual), precipitación etapa prefloración-floración (preflo_pp), precipitación en el llenado del grano (llena_pp), precipitación en la maduración del grano (mad_pp).

4.1.5 Correlación entre la temperatura anual y temperatura registrada en las diferentes etapas fenológicas del café con la productividad

La temperatura anual y las temperaturas registradas en las diferentes etapas fenológicas del cultivo del café no presentaron correlación significativa con la productividad en los 11 departamentos evaluados (Cuadro 17).

Cuadro 17. Coeficientes de correlación entre la productividad del café y temperaturas que se registraron en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de café a nivel de departamentos

| Departamento | Temperatura (°C) | | | | | | | |
|-------------------|------------------|------|----------|------|---------|------|-------|------|
| | tanual | | preflo_t | | llena_t | | mad_t | |
| | r | p | r | p | r | p | r | p |
| Comayagua | 0.15 | 0.67 | 0.13 | 0.71 | -0.05 | 0.90 | -0.23 | 0.52 |
| Copán | 0.32 | 0.37 | -0.16 | 0.66 | 0.35 | 0.33 | 0.13 | 0.73 |
| Cortés | -0.03 | 0.94 | 0.60 | 0.07 | 0.07 | 0.85 | -0.38 | 0.28 |
| El Paraíso | 0.27 | 0.45 | 0.51 | 0.14 | 0.36 | 0.31 | -0.21 | 0.56 |
| Francisco Morazán | 0.11 | 0.77 | 0.39 | 0.27 | 0.07 | 0.85 | -0.46 | 0.18 |
| Intibucá | 0.18 | 0.62 | -0.01 | 0.98 | 0.25 | 0.49 | 0.01 | 0.97 |
| Lempira | 0.21 | 0.57 | -0.15 | 0.68 | 0.24 | 0.50 | 0.08 | 0.82 |
| Ocotepeque | 0.50 | 0.14 | 0.37 | 0.29 | 0.48 | 0.16 | 0.39 | 0.26 |
| Olancho | 0.06 | 0.87 | 0.53 | 0.11 | 0.10 | 0.78 | -0.49 | 0.15 |
| Santa Bárbara | 0.17 | 0.64 | 0.15 | 0.68 | 0.05 | 0.88 | -0.23 | 0.52 |
| Yoro | -0.24 | 0.51 | 0.02 | 0.95 | -0.20 | 0.59 | -0.57 | 0.09 |

*probabilidad ($p \leq 0.05$) indica correlación entre variables. r: Coeficiente de Pearson. Temperatura anual (tanual), temperatura etapa prefloración-floración (preflo_t), temperatura en el llenado del grano (llena_t), temperatura en la maduración del grano (mad_t).

4.2 Nivel de productores de El Paraíso 2005-2009

4.2.1 Productividad, precipitación y temperatura registrada a nivel de productores de El Paraíso 2005-2009

El Cuadro 18 muestra el área, producción, productividad promedio de café, y precipitación anual. El mayor valor de productividad se registró en el ciclo 2005-2006, a partir del ciclo 2006-2007 los valores de productividad son similares entre los ciclos de cosecha. La precipitación anual presentó rangos que van de 1101.6 a 2049.7 mm, y el año 2005 se registró el mayor valor de precipitación y en el 2006 el menor valor.

Cuadro 18. Producción a nivel de productores ciclo de cosecha 2005-2006 al 2009-2010

| Ciclo productivo | n | ha | kg año ⁻¹ | kg ha ⁻¹ año ⁻¹ | ppanual |
|------------------|----|------|----------------------|---------------------------------------|---------|
| 2005-2006 | 29 | 4.61 | 3019 | 601.7 | 2049.7 |
| 2006-2007 | 28 | 3.14 | 1338 | 515.4 | 1101.6 |
| 2007-2008 | 38 | 4.73 | 2390 | 494.7 | 1725.1 |
| 2008-2009 | 46 | 5.52 | 2985 | 550.4 | 1703.4 |
| 2009-2010 | 47 | 3.85 | 2099 | 528.5 | 1250.0 |

4.2.2 Efecto de la precipitación anual y manejo del café sobre la productividad

El Cuadro 19 presenta el resultado de la modelación tomando en cuenta la precipitación anual y el manejo. Las variables precipitación anual, fertilizante, regulación de sombra y poda sanitaria no presentaron efectos significativos sobre la productividad.

Cuadro 19. Efecto de la precipitación anual y manejo del café sobre la productividad

| Productividad (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) | Coefficiente | Std. Err. | P> t |
|---------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|-------|
| Precipitación anual (mm) | 0.086 | 0.06 | 0.190 |
| Fertilizante (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) | 0.303 | 0.18 | 0.112 |
| Regulación de sombra (jornales ha ⁻¹ año ⁻¹) | -3.6 | 7.54 | 0.634 |
| Poda sanitaria (jornales ha ⁻¹ año ⁻¹) | 4.2 | 11.82 | 0.723 |
| Constante | 336 | 119 | 0.006 |
| Bondad de ajuste R ² = 0.035 | | | |

Observación: Modelo regresión múltiple datos panel. 188 observaciones, $\alpha = 95\%$ de confianza, ** significativo al 5%.

4.2.3 Efectos de la precipitación registrada en las etapas fenológicas del cultivo y manejo del café sobre la productividad

El Cuadro 20 presenta el resultado de la modelación tomando en cuenta la precipitación registrada en las diferentes etapas fenológicas del cultivo, uso de fertilizantes, regulación de sombra y poda sanitaria. La precipitación registrada en las diferentes etapas fenológicas del cultivo no presentó efecto significativo sobre la productividad. En relación a las prácticas de manejo evaluado, la regulación de sombra y poda sanitaria no presentaron efecto significativo sobre la productividad sin embargo el uso de fertilizante presento efecto significativo ($p=0.044$) con coeficiente positivo de 0.38 lo que indica que la aplicación de fertilizante en el periodo 2005 al 2009 ha tenido un efecto positivo sobre la productividad. El R^2 que presentó el modelo fue de 0.087 lo que nos dice que el 8.7% de la variación en la productividad esta explicada por el modelo en este caso por las variables independientes y el restante por otros factores.

Cuadro 20. Efecto de la precipitación registrada en las etapas fenológicas y manejo del café sobre la productividad (2005-2009)

| Productividad (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) | Coeficiente | Std. Err. | P> t |
|---------------------------------------------------------------------|-------------|-----------|----------------|
| Precipitación en la etapa de prefloración-floración | -1.07 | 0.66 | 0.107 |
| Precipitación en la etapa de llenado del grano | 0.18 | 0.13 | 0.177 |
| Precipitación en la etapa de maduración del grano | 0.26 | 2.13 | 0.902 |
| Fertilizante (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) | 0.38 | 0.18 | 0.044** |
| Regulación de sombra (jornales ha ⁻¹ año ⁻¹) | -2.92 | 7.46 | 0.695 |
| Poda sanitaria (jornales ha ⁻¹ año ⁻¹) | 8.59 | 11.84 | 0.470 |
| Constante | 229 | 274 | 0.405 |
| Bondad de ajuste $R^2 = 0.087$ | | | |

Observación: Modelo regresión múltiple datos panel. 188 observaciones, $\alpha = 95\%$ de confianza, ** significativo al 5%.

4.3 Nivel de productores de El Paraíso 2003-2009

4.3.1 Productividad, precipitación y temperatura registrada a nivel de productores de El Paraíso 2003-2009

El Cuadro 21 muestra los valores promedio del área de café, producción y productividad en siete ciclos de cosecha. Se registró el mayor valor de producción y productividad en el ciclo 2005-2006 y el menor valor en el ciclo 2003-2004. La productividad a partir del ciclo de cosecha 2006-2007 presenta productividades similares.

Cuadro 21. Productividad, temperatura media anual y precipitación registradas a nivel de productores de El Paraíso ciclo de cosecha 2003-2004 al 2009-2010

| Ciclo | n | ha | kg | kg ha ⁻¹ año ⁻¹ | CV* | kg ha ⁻¹ año ⁻¹ (Mínimo) | kg ha ⁻¹ año ⁻¹ (Máximo) |
|-----------|----|------|-------|---------------------------------------|-------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 2003-2004 | 23 | 6.64 | 2,650 | 410.26 | 43.44 | 189 | 846 |
| 2004-2005 | 28 | 5.95 | 2,363 | 441.07 | 51.98 | 98 | 1,241 |
| 2005-2006 | 29 | 4.61 | 3,019 | 601.69 | 48.73 | 131 | 1,337 |
| 2006-2007 | 28 | 3.14 | 1,338 | 515.36 | 70.26 | 56 | 1,464 |
| 2007-2008 | 38 | 4.73 | 2,390 | 494.63 | 48.36 | 131 | 1,148 |
| 2008-2009 | 46 | 5.51 | 2,985 | 550.43 | 55.02 | 153 | 1,480 |
| 2009-2010 | 47 | 3.85 | 2,099 | 528.47 | 44.35 | 196 | 1,094 |

Observación: *Coeficiente de variación de la productividad

El Cuadro 22 muestra las precipitaciones registradas en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de café y la precipitación anual. El mayor valor de precipitación anual se registró en el año 2005. En la etapa Prefloración-Floración se registró el mayor valor de precipitación en el año 2007 y en el año 2009 no se registró precipitación. En la etapa del llenado del grano se presentó la mayor precipitación en el año 2005 y el menor valor en el año 2006. En la etapa de maduración del grano de café no se registró precipitación en el año 2006 y el mayor valor de precipitación se presentó en el año 2009. En el año 2005 la precipitación se concentró en la etapa del llenado del grano.

Cuadro 22. Precipitación anual y en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de café (2003-2004 al 2009-2010)

| Año | Pre-flor | llenado | maduración | Precipitación anual |
|------|----------|---------|------------|---------------------|
| 2003 | 61.2 | 1147.5 | 17.5 | 1,230 |
| 2004 | 33.2 | 1029.4 | 31.2 | 1,111 |
| 2005 | 15 | 2027 | 7.7 | 2,050 |
| 2006 | 38.8 | 1002 | 52.8 | 1,102 |
| 2007 | 122.1 | 1584 | 16.2 | 1,725 |
| 2008 | 79.5 | 1558 | 0 | 1,703 |
| 2009 | 0 | 1188 | 55.8 | 1,230 |

En la Figura 16 se aprecia que la precipitación sugiere cierta relación con la productividad de café, en el año 2005 se presentó la mayor precipitación y a la vez se registró la mayor productividad de café, en los años 2004 y 2006 se registraron los menores valores de precipitación con menores valores de productividad en comparación al ciclo 2005-2006.

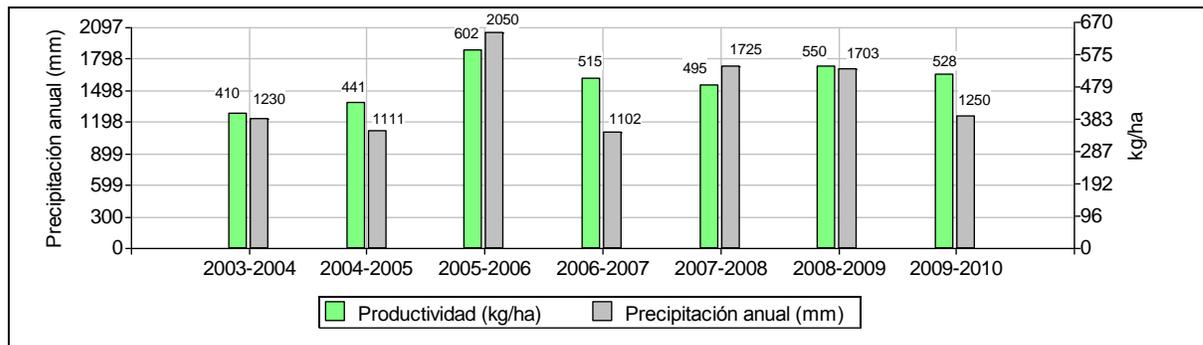


Figura 16. Precipitación y productividad de café a nivel de productores (2003-2004 al 2009-2010)

4.3.2 Efecto de la precipitación anual sobre la productividad

El Cuadro 23 muestra el resultado de la modelación de la productividad del café en función de la precipitación anual en un período de 7 años. La variable precipitación anual presentó una relación directa positiva con la productividad con coeficiente de 0.10 siendo esta significativa ($p=0.034$) lo que indica que la precipitación que se ha registrado en el periodo 2003-2004 al 2009-2010 ha tenido un efecto positivo sobre la productividad y en donde se dan disminuciones de precipitación tiende a decrecer la productividad. La bondad de ajuste R^2 que presentó el modelo fue de 0.026 lo que nos dice que el 2.6% de la variación en la

productividad esta explicada por el modelo en este caso por las variables independientes y el restante por otras variables.

Cuadro 23. Efecto de la precipitación anual sobre la productividad de café a nivel de productores, ciclo de cosecha 2003-2004 al 2009-2010

| Productividad (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) | Coeficiente | Std. Err. | P> t |
|--------------------------------------------------------|-------------|-----------|----------------|
| Precipitación anual | 0.10 | 0.048 | 0.034** |
| Constante | 362.19 | 72.34 | 0.000 |
| Bondad de ajuste ($R^2 = 0.026$) | | | |

Observación: Modelo regresión múltiple datos panel. 239 observaciones, $\alpha = 95\%$ de confianza, ** significativo al 5%.

4.3.3 Efecto de la precipitación registrada en las diferentes etapas fenológicas del cultivo sobre la productividad

El Cuadro 24 muestra los resultados de la modelación de la productividad de café en función de la precipitación registrada en las diferentes etapas fenológicas del cultivo en un periodo de 7 años. La precipitación registrada en el llenado del grano presentó relación positiva con la productividad de café con coeficiente de 0.21 siendo esta significativa ($p=0.012$) lo que indica que a medida que se incrementan las precipitaciones se ve favorecida la productividad. El R^2 que presentó el modelo fue de 0.06 lo que nos dice que el 6% de la variación en la productividad esta explicada por el modelo en este y el restante por otros factores.

Cuadro 24. Efectos de la precipitación en las etapas fenológicas del cultivo de café sobre la productividad a nivel de productores (2003-2004 al 2009-2010)

| Productividad (kg ha ⁻¹ año ⁻¹) | Coeficiente | Std. Err. | P> t |
|--------------------------------------------------------|-------------|-----------|----------------|
| Precipitación en la etapa de prefloración y floración | -0.71 | 0.56 | 0.209 |
| Precipitación en la etapa de llenado del grano | 0.18 | 0.07 | 0.012** |
| Precipitación en la etapa de maduración del grano | 1.13 | 1.43 | 0.433 |
| Constante | 267 | 147 | 0.071 |
| Bondad de ajuste ($R^2 = 0.06$) | | | |

Observación: Modelo regresión múltiple datos panel. 239 observaciones, $\alpha = 95\%$ de confianza, ** significativo al 5%.

5 DISCUSIÓN

5.1 Nivel departamento

5.1.1 *Efecto de la temperatura y precipitación anual sobre la productividad*

De acuerdo al modelo econométrico la precipitación anual no presentó efecto significativo en la productividad de café sin embargo la temperatura anual presentó efectos significativos con coeficiente positivo en el periodo que va de 1999 al 2008 (Cuadro 14). En el análisis de correlación la precipitación y temperatura anual no presentaron correlación significativa en los departamentos (Cuadro 16 y 17). En relación a la precipitación anual el promedio registrado en los departamentos comprenden valores que van de 1,090 mm en Comayagua a 1,961 mm en Ocotepeque (Cuadro 11). En los departamentos de Copán, Intibucá, Lempira, Ocotepeque y Yoro en los 10 años evaluados presentaron rangos de precipitación que van de 1,261 mm a 2,710 mm anuales (Cuadro 13).

Los departamentos antes mencionados presentaron valores de precipitación favorables para el desarrollo del café en los 10 años. Existen diferentes rangos de precipitación anual en que el café puede desarrollarse, Alégre (1959) menciona que el café arábica puede desarrollarse en rangos de precipitación entre 800 mm y 2,500 mm anuales con rango óptimo de 1,200 y 1,800 mm. El IICA (1995) indica que el desarrollo del cafeto requiere precipitaciones entre 1,000 y 2,800 mm anuales.

En algunos departamentos se presentaron valores de precipitación por abajo de 1,000 mm anuales en alguno de los años estando fuera del rango óptimo, sin embargo presentaron productividades similares a las registradas en años con rangos de precipitación óptimas para el cultivo de café. Entre estos están el departamento de Comayagua el cual presentó en el año 2001 valor de precipitación anual de 937 mm con registro de productividad de 907 kg ha⁻¹año⁻¹ y en el año 2005 se registró similar productividad con 931 kg ha⁻¹año⁻¹ con precipitación de 1,192 mm, en el departamento de Cortés se registró en el año 2003 precipitación de 996 mm y productividad de 571 kg ha⁻¹año⁻¹ y el en el año 2005 se registro similar productividad con 561 kg ha⁻¹año⁻¹ con precipitación de 1,291 mm (Cuadro 11 y 13). Esto nos dice que el café aunque este en rangos que no son óptimos pero sí en rango próximo a lo óptimo no se ve

afectada su productividad, también este resultado sugiere que hay otros factores que tienen que tienen efecto en la productividad de café, y por lo tanto se tiene que revisar si hubo un cambio en algunas de las prácticas pre-cosecha, tal como la aplicación de fertilización.

En relación a la temperatura anual se presentó una relación directa con coeficiente positivo de 61.33 siendo esta significativa ($p=0.011$) lo que indica que los cambios de temperatura anual han tenido efecto positivo sobre la productividad en el período de cosecha comprendido entre 1999-2000 al ciclo 2008-2009, a medida que se dan incrementos de temperatura en el periodo de tiempo evaluado se ve favorecida la productividad. El resultado anterior podría ser un efecto no real debido a que las variaciones en la temperatura entre los años es muy mínima en los 10 años analizados para cada departamento (Anexo 10), también el modelo presentó un R^2 de 0.07 lo que nos dice que el 7% de la variación en la productividad esta explicada por las variables independientes y el restante por otros factores. El valor bajo del coeficiente R^2 puede deberse también a que el número de observaciones es de 110 siendo un valor bajo.

El precio internacional del café es uno de los factores que esta relacionado con la baja productividad en alguno de los años en Honduras. En el Anexo 13 se presenta la producción, área y productividad tomando en cuenta los 11 departamentos seleccionados en el estudio, en esta podemos ver que en el año 2002 se registró el menor valor de área, producción y productividad, esta variación de la productividad posiblemente se deba a que en el ciclo 2001-2002 se presentó la crisis cafetalera con los precios internacionales abajo de los costos de producción.

De acuerdo a la CEPAL (2002) en el año 2001 debido a la sobre oferta de café el precio se ubicó por debajo de 50 dólares por quintal (46 kg), siendo el precio más bajo desde el año 1950 quedando por debajo de los costos de producción, esto obligó a los productores a reducir los costos de producción, limitando al máximo la inversión en insumos y en labores, incluido el corte. El 20% de los cafetales se quedó sin labores y el 80% con labores mínimas, en la siembra y resiembra se redujo en 73% el número de jornales, en manejo de plagas y fertilización 50 %, jornales dedicados a la cosecha 20 % de tal forma que el rendimiento de las plantaciones se refleja en la disminución en la siguiente cosecha 2002-2003.

En el Anexo 13 podemos observar que de 1999 al 2005 el café presenta un patrón bianual en la productividad, a partir del año 2005 se deja de percibir la bianualidad y la productividad comienza a presentar un patrón de incremento. Este incremento en la productividad se debe por una parte a la asistencia técnica, avance tecnológico, políticas gubernamentales positivas e inversiones en el sector café sumado a un incremento de los precios internacionales. A partir del ciclo 2005-2006 se aprobó un fondo especial de 30 millones de Lempiras anuales para beneficiar a más de 28 mil pequeños productores de café del país que producen menos de 15 quintales de café por año para mejorar su productividad. En el ciclo de cosecha 2006-2007 se incremento en 10 % las exportaciones en relación al ciclo 2005-2006 debido a un incremento en el precio promedio de exportación que fue de 112.03 dólares comparado al año 2005-2006 con 105.32 dólares por quintal. A parte del incremento en el precio internacional en Honduras se ha venido ejecutando programas de fertilización, renovación de plantaciones y manejo integrado de plagas en toda la zona cafetalera del país que ha venido realizando el IHCAFE y las Organizaciones Cafetaleras con el objetivo de incrementar la productividad de las fincas (IHCAFE 2007).

Para el ciclo 2006-2007 se distribuyeron 325 mil quintales de fertilizante formula cafetalera para maximizar la productividad. Se rehabilitaron 5,000 ha de café mejorando la densidad de siembra, conservación de suelos y utilizando diferentes tipos de podas. La cobertura en los servicios de asistencia técnica en forma grupal y participativa alcanzando el 40% del universo total de productores a través de la implementación del Proyecto de Caficultor Innovador (CAFINES) en las diferentes regiones del país (IHCAFE 2008).

Los precios promedio del café de la cosecha 2007-2008 fueron mejores que los precios de las tres cosechas anteriores. Desde su implementación operativa, Decreto 152-2006 y 56-2007 el Fideicomiso del café ha contribuido en la rehabilitación financiera de la caficultura de Honduras, particularmente en dos aspectos importantes: El pago por cuenta de los productores sujetos de crédito al sistema financiero nacional, por más de 164 millones de Lempiras hasta la cosecha 2007/08. La compra y distribución de fertilizantes para el cultivo de café, a precios preferenciales, por un valor superior a los 265 millones de Lempiras lo que permite incrementos en la productividad de café (IHCAFE 2009).

5.1.2 Efecto de la temperatura y precipitación que se presentaron en las diferentes etapas fenológicas del cultivo sobre la productividad

La temperatura registrada en el llenado del grano de café presentó efecto significativo con coeficiente positivo, los incrementos de temperatura entre el ciclo de cosecha 1999-2000 al ciclo 2008-2009 tienden a tener un efecto positivo en la productividad. Ordaz *et al.* (2010a) en Honduras determinaron el efecto de la temperatura de mayo a octubre (etapa del llenado del grano) sobre la productividad de café en Honduras a través de modelo econométrico utilizando la función de producción y determinaron los umbrales de temperatura en donde puede ser perjudicial para el cultivo de café. Se utilizaron registros de productividad y datos climáticos de 45 años. Los resultados muestran que el modelo presentó coeficiente positivo de 4.06 en términos lineales y negativo al utilizar modelo en términos cuadrático. En el mismo estudio se concluyó que es probable que el nivel de temperatura actual sea muy cercano al que permite obtener el mayor nivel de producción, por lo tanto el calentamiento global podría incentivar ligeramente la producción en el corto plazo, pero una vez que dicho nivel se supere, la producción tenderá a reducirse. De acuerdo a estas proyecciones las temperaturas promedio de mayo a octubre donde se dieron los rendimientos máximos fueron con 25°C como el valor óptimo para café.

5.2 Nivel de productores de El Paraíso del 2005-2009

No se presentaron efectos significativos de la precipitación anual y precipitación registradas en las diferentes etapas del cultivo de café sobre la productividad con los datos de cinco ciclos de cosecha (Cuadro 23). En relación a las prácticas de manejo de pre cosecha la regulación de sombra y poda sanitaria no presentaron efectos significativos sobre la productividad a través de los cinco ciclos productivos analizados, sin embargo la aplicación de fertilizante convencional presentó leve efecto significativo positivo con valores R^2 bajos (Anexo 23). La no constancia de los datos de los productores en el tiempo y el bajo número de observaciones podría haber afectado los resultados, sumado a que la serie de tiempo es relativamente corta de cinco ciclos de cosecha (Anexo 9 y 10). Se presentó efecto de la fertilización y la precipitación no presento efecto, de acuerdo a Jaramillo *et al.* (1992) la variación en la producción depende en gran proporción (70-80%) de las aplicaciones tecnológicas como: variedades mejoradas, prácticas de fertilización, controles fitosanitarios y mecanización entre otras; las condiciones climáticas pueden influir en menor porcentaje los cuales van entre 12 y 18%.

El efecto de la fertilización convencional en la productividad de café puede ser un efecto real. Existen numerosos estudios en donde evalúan la fertilización y su efecto en la producción de café en periodo de tiempo corto debido a que el efecto de la fertilización se presenta en el mismo año en la productividad de café. En el municipio de Pereira en Colombia en la Subestación experimental se evaluó la producción de café pergamino seco ($\text{kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en cafetales asociados con plátano con fertilización y sin fertilización del año 2000 a 2003. El café se fertilizó tomando en cuenta análisis de suelos, el plan de fertilización del café fue de 290 kgha^{-1} de urea + 100 kgha^{-1} de DAP + 200 kgha^{-1} de KCL. Los resultados indican que el promedio de café sin fertilizar en los 4 años fue de $2.447,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de café y el café con fertilización fue de $3.940,5 \text{ kg ha}^{-1}$ al año siendo un incremento significativo, los resultados estadísticos permiten inferir que la fertilización incrementó la producción en un 61% (Farfán 2005).

Estudio realizado por el ICAFE (2007) en Pueblo Nuevo Soto Cruz, Costa Rica el cual realizó ensayos para evaluar la respuesta del Potasio en la productividad con dosis de 100, 200, 300, 400 y 500 kgha^{-1} en dos años (cosecha 2006-2007 y 2007-2008) encontrando mayor

producción al aplicar 200 kg ha⁻¹ de Potasio superando al testigo en 15 fa/ha de café cereza, después de incrementar la dosis por arriba de los 200 kg/ha la productividad tiende a bajar por lo tanto se sugirió hacer un uso racional de fertilizantes.

5.3 Nivel de productores de El Paraíso 2003-2009

El modelo econométrico de regresión múltiple tomando en cuenta serie de tiempo de siete años, presentó efecto con coeficiente positivo de la precipitación anual sobre la productividad de café (Cuadro 21) lo que indica que a medida que se incrementa la precipitación favorece a la productividad del café. En relación a las precipitaciones que se registraron en las etapas de prefloración-floración y maduración del grano no presentaron efecto significativo sobre la productividad sin embargo la precipitación registrada en la etapa del llenado del grano presentó efecto positivo sobre la productividad (Cuadro 22).

Las lluvias registradas en el llenado del grano van de mayo a octubre correspondiendo a la época lluviosa y representan 94% de la precipitación anual tomando en cuenta los datos del 2003 al 2009 lo que está relacionado a que se presenten efectos de la precipitación anual y precipitación registrada en el llenado del grano sobre la productividad. Al utilizar una serie de tiempo más larga en este caso de 7 años (ciclo de cosecha 2003-2004 al 2009-2010) en comparación a la serie utilizada de 5 años (ciclo de cosecha 2005-2006 al 2009-2010) es que en la de 7 años se pudo identificar efecto de la precipitación sobre la productividad aunque es un efecto no muy fuerte por presentar en ambos casos coeficientes R² bajos. En el ciclo de siete años se presentó precipitación anual promedio de 1,450 mm, el año 2005 presentó el mayor valor de precipitación anual con 2,050 mm el cual está relacionado al ciclo de cosecha 2005-2006 en donde se registró el mayor valor de productividad con 601.69 kg ha⁻¹año⁻¹ y en el año 2006 se presentó el menor valor de precipitación anual con 1,102 el cual está relacionado al fenómeno de El Niño y presentó valor menor de productividad en comparación al ciclo 2005-2006. La alta precipitación en el 2005 es debido a que se registraron en ese año la tormenta tropical Arlene en el mes de junio y los huracanes Emily en julio, Beta en octubre y Wilma entre septiembre y agosto (Cuadro 2).

La alta productividad en el año 2005 correspondiente al ciclo de cosecha 2005-2006 podría estar relacionada al fenómeno de La Niña. En Nicaragua en el 2005 fue uno de los años

con mayores precipitaciones y la producción de café alcanzó niveles récord (sobre 2 millones de sacos 100 lb). Esto coincidió con un acontecimiento de La Niña, sin embargo los años 2004 y 2006 fue uno de los más secos presentando baja producción de café siendo considerable en comparación al 2005. Un análisis de los datos sugiere que en Centro América fuera bajo influencia de un acontecimiento de Niña lo que trajo la precipitación récord en el 2005, pero en el plazo de 6 meses cambió al fenómeno de El Niño con la precipitación con record más bajo para el 2006, observándose variaciones de 930 libras a 540 libras por ha de café tomando en cuenta que los precios en esos años estaban estables , muchos atribuyen el desplome en la producción del café a estos cambios de clima (Baker y Hagggar 2007).

El agua es de vital importancia para el cultivo de café, esta debe de estar libremente disponible durante el periodo de crecimiento de la fruta de café para asegurar producciones de semillas grandes de alta calidad (Carr 2000). Escasez de agua particularmente durante el crecimiento del fruto reduce su crecimiento, las frutas que crecen durante el tiempo húmedo llegan a ser más grandes que las frutas que se amplían durante el tiempo caliente seco (Cannell, 1985). En Veracruz México para un escenario base de 30 años de datos y sus respectivas condiciones ombrotérmicas estándares se reporta precipitación anual de 2,073 mm presentaron superávit de humedad de mayo a octubre, el desarrollo del fruto se alcanza cuando se supera el déficit hídrico y la condición de humedad la cual se cubre en 52.9% con el superávit de humedad, de acuerdo a los productores el crecimiento del fruto se inicia en abril y finaliza octubre, este superávit asegura el crecimiento del fruto (Villers 2009).

En Ruiru cerca del ecuador en Kenia entre 1957 y 1961, excepto los datos de 1958, aplicaron un total de 1,900 milímetros en el período de cuatro años, esto llevó a un aumento de producción total de 370 kg ha⁻¹ (12%), se determino que por cada mililitro de agua aplicado se incremento el rendimientos a 0.77 kg ha⁻¹año⁻¹ (Wallis 1963). En plantaciones de café en Kenia se determinó que al aplicar 400 mm de agua aumentó la producción a 1.4 kg por planta en un año lo que equivale 3,150 kg ha⁻¹año⁻¹ tomando en cuenta densidades de 2,250 árboles por ha, por el aumento de un milímetro de agua aplicado se dio incremento de 1.3 kg ha⁻¹año⁻¹ (Cannell, 1973).

6 CONCLUSIONES

A nivel de departamentos de Honduras en el periodo de cosecha de 1999-2000 al 2008-2009 no se presentó efecto significativo de la precipitación anual sobre la productividad de café, sin embargo la temperatura anual presento relación positiva significativa con la productividad aunque los valores de temperatura registrados en los años por departamentos presentaron diferencias mínimas entre los años. De acuerdo a las temperaturas y precipitaciones registradas en las diferentes etapas fenológicas del cultivo se presento efecto positivo en las temperaturas registradas en la etapa de llenado del grano de café sobre la productividad en el resto no se presento efecto.

A nivel de productores en el ciclo de cosecha 2005-2006 al 2009-2010 no se presentaron efectos de la precipitación anual y precipitación registrada en las diferentes etapas fenológicas del cultivo de café sobre la productividad. En relación a los manejos pre cosecha evaluados solo la fertilización convencional presento efecto positivo sobre la productividad, el resto de manejos: regulación de sombra y poda sanitaria no presentaron efecto sobre la productividad. No se analizaron los manejos de fertilización orgánica, uso de fungicidas y fertilización foliar por presentar pocas observaciones registradas.

A nivel de productores en el ciclo de cosecha 2003-2004 al 2009-2010 en el departamento de El Paraíso se presentó efecto de la precipitación anual y la precipitación registrada en el llenado del grano sobre la productividad. A nivel de productores la variable temperatura no se incluyó en los modelos por no contar con estación meteorológica con datos completos de dicha variable.

Los resultados no son concluyentes debido a que en todos los modelos presentaron valores bajos en la bondad de ajuste (R^2) lo que indica que hay otros factores que no se incluyeron en los modelos como tipo de suelo, altura, variedades etc. y que tienen efecto sobre la productividad. También los registros presentaron observaciones no constantes en el tiempo y las series de tiempo utilizadas fueron cortas con bajo número de observaciones.

7 RECOMENDACIONES

Es necesario continuar ajustando los modelos en función de introducirle mejor información y con más repeticiones, el cual podría en un futuro permitir elaborar índices de riesgo por cambio climático en el sector cafetalero por región, variedad y técnicas de manejo. Aún así el modelo demuestra que muchos de los efectos en la productividad no son totalmente explicados por la temperatura o la precipitación sino posiblemente por las prácticas de manejo, enfermedades, precios internacionales, entre otros. Por eso se debe profundizar más en como también afectan variables como las anteriores aunque la precipitación y la temperatura cambien.

En relación a los modelos utilizados puede ser que los errores estén correlacionados espacial o temporalmente, si esto fuera así las estimaciones serían ineficientes pero no sesgadas. Cuando se puedan conseguir más datos se puede examinar detalladamente ya que esto reduciría la ineficiencia del modelo si esta existe.

Es de suma importancia de contar con una buena base de datos meteorológicos, la cual es fundamental no solo para aumentar nuestra comprensión del funcionamiento de los ecosistemas naturales y agrícolas, si no para tomar mejores decisiones en el manejo de diferentes cultivos (Fournier 2004). En muchas áreas del café las estaciones meteorológicas están en las ciudades y en los valles, no en las superficies crecientes del café real. Esto se demuestra con la distancia de las estaciones estudiadas con respecto a las zonas de producción de café. También, la información confiable sobre productividad en muchos países es muy escasa. Los sistemas de vigilancia necesitan ser desarrollados para las condiciones de clima en las superficies crecientes del café, y productividad y calidad del café para poder cuantificar los impactos del cambio de clima (Baker y Hagggar 2007). Por lo anterior se hace imprescindible que los ministerios de agricultura en colaboración con los entes encargados de la medición de clima instalen bases de datos meteorológica para cultivos de alta importancia en el país como el café.

Se debe ordenar en el sector caficultor las intervenciones de los proyectos, programas de investigación del sector café en cambio climático, sean de orden público, privado o

cooperación, para que exista una secuencia de datos lógica y congruente a través de los años, así como elaborar protocolos de toma de datos y análisis estándares que permitan que las investigaciones no sean aisladas, sino vayan sumando a un conjunto más ordenado de resultados que permitan tomar decisiones políticas e institucionales positivas para el sector.

Tomar compromiso de parte de las organizaciones que trabajan con productores de fomentar una cultura de registros de datos, de producción, manejo, estructuras de costos, y otros de manera constante y a largo plazo esto para que sirva en la mejor toma de decisiones de parte de los productores e investigación de parte de las organizaciones.

Fomentar la creación de sistema nacional de información de datos agronómicos y climatológicos relacionados con el sector cafetalero, que puedan monitorear en tiempo y forma los cambios en el clima y las cosechas, de modo que prevea los cambios a futuro y permita a través de un mecanismo dar respuesta eficiente y ágil para el sector. Elaborar los mapas de vulnerabilidad dividiendo en zonas de acuerdo a la probabilidad y severidad de los cambios del clima integrados a un modelo nacional de riesgos y compensaciones.

Si se espera un calentamiento y disminución de las temperaturas de acuerdo a las investigaciones como las realizada por (Ordaz *et al.* 2010a, Villers *et al.* 2009, Gay 2006, IPCC y otros) se debe elaborar las estrategias inmediatas para prevenir posibles efectos negativos en los sistemas de producción. Entre las posibles estrategias mencionadas por (Baker y Hagggar 2007, Donga y Jährmann 2008, Altieri, M.; Nicholls 2009 Pérez *et al.* 2009 y otros) están:

- Fortalecer la diversificación de la producción en las zonas cafetaleras como una acción de hacer sistemas de producción con mayor resiliencia ante el cambio climático, obtener seguridad alimentaria y diversificar los ingresos en las familias de los productores de café.
- A través de financiamiento dotar a las fincas con infraestructura como reparación de caminos para sacar la cosecha, tanques para almacenar agua, aguadas, pozos, lagunas de captación de agua, cocinas mejoradas, secadores solares para café y energías renovables.

- Mantenimiento y aplicación de la cobertura forestal, implementación de sistemas agroforestales utilizando combinaciones de leguminosas con maderables para favorecer la disponibilidad de nutrientes a través de la materia orgánica, regulación de la temperatura en el ambiente y diversificación en los ingresos.
- Buenas prácticas agrícolas del manejo de cultivo (manejo de sombra, poda, plagas, enfermedades, fertilización y riego).
- Capacitaciones para promotores y productores.
- Acceso a la información y datos básicos.
- Conservación de la diversidad genética, plantas resistentes a la sequía.
- Medidas de mitigación (captura de carbono para generar créditos de carbono y certificación amigable con el clima).

8 BIBLIOGRAFÍA

- Alégre, C. 1959. Climats et caféiers d' Arabie. *Agronomía Tropical* 14: 23-58.
- Altieri, M; Nicholls. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. *Leisa* 24(4):5-8.
- Alvarado, M; Rojas, G. 2007. El cultivo y beneficiado del Café. Universidad Estatal a Distancia, San José, CR. 184 p.
- Arcila Pulgarín, J; Buhr, L; Bleiholder, H; Hack, H; Wicke, H. 2001. Aplicación de la escala BBCH ampliada para la descripción de las fases fenológicas del desarrollo de plata de café (*Coffea sp.*). *Boletín Técnico-Centro Nacional de Investigación de Café*. Chinchiná, Caldas, CO. (23). 32 p.
- Arellano, M; Bover, O. 1990. La econometría de datos de panel. *Investigaciones Económicas* 14(1):3-45.
- Argeñal, F. 2010. Variabilidad Climática y Cambio Climático en Honduras. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA). (en línea). Consultado 16 de Nov 2011. Disponible en: <http://www.fundacionvida.org/uploaded/content/category/994208737.pdf>
- Arias, O. M. 1982. Algunos aspectos sobre fisiología de crecimiento y desarrollo del cafeto. Curso de caficultura para técnicos. ANACAFE, CATIE. Guatemala. 66-79 p.
- Aristizábal, G; Arcila, P. 1975. Secamiento y caída de frutos tiernos de café. *Avances Técnicos CENICAFE*. no.40. 2 p.
- Baca Gómez, María. 2011. Identificación de la vulnerabilidad en los medios de vida de las familias cafetaleras y sus posibles estrategias de adaptación al cambio climático en el norte de Nicaragua. Tesis Mag.Sc. Turrialba, CR, CATIE, 180 p.
- Baker, P; Haggard, J. 2007. Global Warning: the impact on global coffee. SCAA conference handout. Long Beach, California, US. 14 p.
- Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Casanoves F., Di Rienzo J.A., Robledo C.W. (2008). *Infostat. Manual del Usuario*, Editorial, Brujas, Córdoba, Argentina.
- Banegas, K. 2009. Identificación de las fuentes de variación que tienen efecto sobre la calidad del café (*Coffea arabica*) en los municipios de El Paraíso y Alauca, Honduras. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE. 58 p.

- Barros, R; Maestri, N; Rena, A. 1999. Physiology of growth and production of the coffee tree. *Journal of Coffee Research* 27(1):1-54.
- BCH (Banco Central de Honduras). 2010. Memoria Anual 2009. (en línea). Consultado 13 de feb 2011. Disponible en: http://www.bch.hn/memoria_anual.php
- Camargo, AP. 1985. Florescimento e frutificação do café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 20(7):831-839.
- Camayo, V; Chaves, C; Arcila, P; Jaramillo, A. 2003. Desarrollo lo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná-Caldas. *Cenicafé Ene-Mar* 54(1):35-49.
- Camilloni, I. 2011. Variabilidad Climática: El Fenómeno de El Niño. *Meteorología general*. Consultado el 18 de nov 2011. Disponible en: http://meteorologiageneral.at.fcen.uba.ar/teo/T17_VC.pdf
- Cannell, M. 1973. Effects of irrigation, mulch and N-fertilizers on yield components of Arabica coffee in Kenya. *Experimental Agriculture* 9:225-232.
- Cannell, M. 1985. *Physiology of the coffee crop*. Clifford, NM; Wilson, K. *Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage*. Helm, London, UK. p. 108-134
- Carvajal, J.F. 1984. *Cafeto: cultivo de la Potasa*. Instituto Internacional de la Potasa, Berna CH. 2 ed. 254 p.
- Castro, F; Montes, E; Raine, M. 2004. *Centroamérica La Crisis Cafetalera: Efectos y Estrategias para Hacerle Frente*. San José, CR. The World Bank, Latin America and Caribbean Regional Environmentally and Socially Sustainable Development Department (LCSES). Sustainable Development Working Paper 23. 128 p.
- CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, CR). 1986. *Agroambiente. Serie Materiales de Enseñanza*. Turrialba, CR. 235 p.
- CCAD (Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo, SV). 2008. *Lineamientos de la Estrategia Regional de Cambio Climático*. 1 ed. San Salvador, SV. 20 p.
- CEN (Centro Latinoamericano para la Competitividad y el Desarrollo). 1999. *La Caficultura en Honduras*. Marzo, 1999. 25 p. (en línea). Consultado el 12 de feb 2011. Disponible en: http://www.incae.edu/ES/clacds/publicaciones/pdf/cen536_final.pdf
- Cenicafé. 2007. *Sistemas de producción de café. Ciclo de vida del Cafeto en Colombia*. (en línea). Chinchiná, CO. Consultado el 28 dic. 2010. Disponible en: http://www.cenicafe.org/modules.php?name=Sistemas_Produccion&lite=1

- Cenicafé. 2000. Distribución de la floración y la cosecha de café en tres altitudes. Avances Técnicos Cenicafé, CO. 272:1-4.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, MX). 2002. El Impacto de la Caída de los Precios del Café en 2001. México. 86p.
- Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2010. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar/>
- Donga, M; Jährmann, K. 2008. Final: How to identify adaptation strategies for smallholder farmers in coffee and tea sector. AdapCC, Adaptation for Smallholders to Climate Change. A joint project of Cafédirect and GTZ. (en línea) Consultado 8 Dic. 2010. Disponible en: http://www.adapcc.org/download/Climate-Change_Adaptation_Strategies.pdf
- Drinnan ,J.E; Menzel, C.M. 1994. Synchronization of the anthesis and enhancement of vegetative growth in coffee (*Coffea arabica* L.) following water stress during floral initiation. Journal of Horticultural Science 69(5):841-849.
- Drinnan, J; Menzel, C. 1995. Temperature affects vegetative growth and flowering of coffee (*Coffea arabica* L.). Journal of Horticultural Science 70 (1):25-34.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2007. El Cambio Climático, el agua y la seguridad alimentaria. Consultado 8 de nov. 2011 Disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0142s/i0142s07.pdf>
- Farfán, V. F. 2005. Producción de Café en un Sistema Intercalado con Plátano Dominicano Harthón con y sin fertilización química. Cenicafé 56(3):269-280.
- FHIA (Fundación Hondureña de Investigación Agrícola). 2004. Guía práctica Producción de Café con Sombra de Maderables. Cortés HN. 24 p.
- Fischersworing, B.; Robkamp, R. 2001. Guía para la Caficultura Ecológica. GTZ Alemania. 3 ed. Popayán, CO. 153 p.
- Fournier, LA; Di Stéfano, JF. (2004). Variaciones climáticas entre 1988 y 2001, y sus posibles efectos sobre la fenología de varias especies leñosas y el manejo de un cafetal con sombra en Ciudad Colón de Mora, Costa Rica. Agronomía Costarricense 28(1): 101-120.
- Galloway, G; Beer, J. 1997. Oportunidades para fomentar la silvicultura en cafetales en América Central. Proyecto Agroforestal CATIE/GTZ. Primera reimpresión, Turrialba, CR. 165 p.
- Gay, C; Estrada, F; Conde, C; Heakin, H; Villers, L. 2006. Potential Impacts of Climate Change on Agriculture: A Case of Study of Coffee Production in Veracruz, México. Centro de

- Ciencias de la Atmosfera, UNAM. Ciudad Universitaria, Circuito Exterior, 04510. México, DF. *Climate Change*, Springer. 79:259-288.
- Gliessman, S. R. 2002. *Agro ecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. CATIE, C.R. 359 p.
- Goldstein, U. 2000. *Avances del Riego por Goteo Aplicados a la Caficultura*. XIX Simposio Latinoamericano de Caficultura. IICA/PROMECAFE-ICAFE. San José, CR. 3-8 p.
- González, C. 2007. *Producción de Café en Honduras: Modelado de las Relaciones Cafeto-Arbolado*. Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Producción Vegetal: Fitotecnia. 212 p.
- GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). 2010. *Cambio Climático y Café: Capacitación para productores y organizaciones cafetaleras*. Eschborn, DE. 75 p.
- Guerrero, J. 2011. Honduras, el nuevo rey cafetalero de Centroamérica. (en línea). *The Wall Street Journal Americas*. New York. US. Consultado 29 jul. 2011. Disponible en: http://online.wsj.com/article/SB10001424053111904800304576474711223626914.html?mod=WSJS_inicio_MiddleSecond
- Guharay, F; Monterrey, J; Monterroso, D; Staver, C. 2000. *Manejo integrado de plagas en el cultivo del café*. Manual técnico N° 44. Managua, NI. 272 p.
- Haggar, J. y Schepp K. 2011. *Coffee and Climate Change. Desk Study: Impacts of Climate Change in four Pilot Counties of the Coffee & Climate Initiative*. University of Greenwich & Kathleen Schepp. 78p.
- Hernández, L. 2009. *Las Denominaciones de Origen como estrategia para mejorar el posicionamiento internacional de productos agroalimentarios colombianos: Caso del Café y el Banano*. Monografía. Facultad de Ciencias Internacionales. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario. Bogotá, Colombia. 57 p.
- Heuvel dop, J; Pardo Tasies, J; Quiroz Conejo, S; Espinoza Prieto, L. 1986. *Agroclimatología Tropical*. San José, CR. UNED. 378 p.
- Holdridge, L.R. 1978. *Ecología basada en zonas de vida*. IICA, San José, CR. 216 p.
- ICAFE (Instituto del Café de Costa Rica). 2007. *Informe Anual de Investigaciones Café 2007. Respuesta productiva del café a la fertilización con potasio, en un andisol de Coto Brus*. Heredia, CR. 149-151 p.
- IHCFAE (Instituto Hondureño del Café). 2001a. *Manual de Caficultura*. 3 ed. Tegucigalpa, HN. 238 p. (en línea) consultado 15 feb 2011. Disponible en: <http://www.cafedehonduras.org/ihcafe/>

- IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). 2001b. Atlas de Tipos de Café de Honduras. Fondo Cafetero Nacional Instituto Hondureño del Café.
- IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). 2007. Informe de Cierre Cosecha 2006-2007. Tegucigalpa, HN. 64 p.
- IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). 2008. Informe de Cierre Cosecha 2007-2008. Tegucigalpa, HN. 60 p.
- IHCAFE (Instituto Hondureño del Café). 2009. Informe Anual Cosecha 2008-2009. (en línea). Consultado 10 de ene 2011. Disponible en: http://www.cafedehonduras.org/ihcafe/administrador/aa_archivos/documentos/informe_cierre_%202008_2009.pdf
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 1995. Caracterización de la caficultura Hondureña: Síntesis. Tegucigalpa, HN. 43 p.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). 2003. Cadena de Comercialización del Café. Managua. NI. 169p.
- ICO (International Coffee Organization). 2007. Annual Review 2006/2007. Disponible en: <http://dev.ico.org/documents/review8e.pdf>
- IMN (Instituto Meteorológico Nacional). 2008. Cambio Climático. Segunda Comunicación Nacional. Clima, variabilidad y cambio climático en Costa Rica. San Jose, CR. 75 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2001a. Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.G. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, y C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos, 881 p.
- IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático). 2001b. Cambio Climático 2001: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Informe del Grupo de Trabajo II. Resumen para responsables de Política. OMM-PNUMA. Ginebra, CH. 95 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2002. Cambio Climático y Biodiversidad. Documento Técnico V del IPCC. Eds. H. Gitay; A. Suárez; RT. Watson; DJ. Dokken. 85 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 2007. 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, CH. 104 p.
- Jaramillo, R.; Guzman, M. 1984. Relación entre la temperatura y crecimiento en *Coffea arabica* L., variedad Caturra. *Cenicafé* 35:57-65.
- Jaramillo Robledo, A.; Otto Larsen, L.; Arcila Pulgarín, J. 1992. Un modelo para evaluar la influencia del clima en la producción del café. *Cenicafé* 43(1):22-26.
- Läderach, P.; Hagggar, J.; Lau, C.; Eitzinger, A.; Ovalle, O.; Baca, M.; Jarvis, A.; Lundy, M. 2010. Mesoamerican coffee: Building a climate change adaptation strategy. CIAT Policy Brief no. 2. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 4 p.
- Läderach, P.; Hagggar, J.; Lau, C.; Eitzinger, A.; Ovalle, O.; Baca, M.; Jarvis, A.; Lundy, M. 2011. M. Café mesoamericano : Desarrollo de una estrategia de adaptación al cambio climático. CIAT Políticas en síntesis no. 2. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, Colombia. 4 p.
- Läderach, P.; Lundy, M.; Jarvis, A.; Ramírez, J.; Pérez, P.E.; Schepp, K.; Eitzinger, A. 2010. Predicted Impact of Climate Change on Coffee Supply Chains. In Leal Filho, W. (ed). *Climate Change Management. The Economic, Social and Political Elements of Climate Change*, Springer Verlag, Berlin, DE. p. 703-723.
- Ledent, J.F. 2002. Manual. Déficit hídrico y crecimiento de las plantas: Respuestas al déficit hídrico. Comportamiento morfo fisiológico. Modelado del crecimiento de las plantas. Centro Internacional de la Papa. 79 p.
- López Bravo, D. 2010. Efecto de la carga fructífera sobre la roya (*Hemileia vastatrix*) del café, bajo condiciones microclimáticas de sol de sol y sombra, en Turrialba, Costa Rica. Tesis Mag. Sc. Turrialba, CR, CATIE, 125 p.
- Lyngbaek, A.; Muschler, R.; Sinclair, F. 1999. Productividad, mano de obra y costos variables en fincas cafetaleras orgánicas y convencionales. *Agroforestería en las Américas* 6(23):24-26.
- Mayorga, M.; Muñoz, E. 2000. La técnica de datos de panel una guía para su uso e interpretación. Costa Rica. 20 p.
- McDonald, J.H. 1930. *Coffee growing: with special reference to East Africa*. Londres RU. East Africa.
- MFEWS (Sistema Mesoamericano de Alerta Temprana para la Seguridad Alimentaria). 2006. Estado de Alerta: sin Alerta Precaución Advertencia Emergencia. Honduras situación de seguridad

- alimentaria. (en línea). Consultado 18 feb 2011. Disponible en: http://v4.fews.net/docs/Publications/Honduras_200609es.pdf
- Monge, L. 1999. Manejo de la Nutrición y Fertilización del Cultivo de Café Orgánico en Costa Rica. (en línea). Consultado el 2 dic. 2010. Disponible en: http://www.mag.go.cr/congreso_agronomico_XI/a50-6907-III_175.pdf
- Montagnini, F. 1992. Sistemas Agroforestales: Principios y Aplicaciones en los Trópicos. 2 ed.rev. San José, CR. 622 p.
- Municipalidad de Alauca. 2004. Apoyo a la Gestión Municipal Ambiental en 25 Municipios de Honduras. Diagnóstico Ambiental Municipal Participativo y Plan de Acción. Alauca. El Paraíso. HN. 52p. (en línea). Consultado 12 nov. 2011 Disponible en: <http://www.fundacionvida.org/uploaded/content/category/1849661630.pdf>
- OIC (Organización Internacional del Café). 2011. Estadísticas comerciales: Producción total de los países exportadores años de cosecha 2005/06 a 2010/2011. (en línea). Consultado 20 marzo. 2011. Disponible en: <http://www.ico.org/prices/po.htm>
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2006. El niño, la niña, hoy. Situación actual y perspectivas (en línea). Consultado el 2 de diciembre del 2011. Disponible en: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcasp/enso_updates.html
- OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2011. El niño, la niña, hoy. Situación actual y perspectivas (en línea). Consultado el 2 de diciembre del 2011. Disponible en: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcasp/enso_updates.html
- Ordaz, J.; Ramirez, D.; Mora, J.; Acosta, A.; Serna, B. 2010a. Honduras Efecto del Cambio Climático Sobre la Agricultura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Impreso en Naciones Unidas. México, D.F. 75 p.
- Ordaz, J.; Ramirez, D.; Mora, J.; Acosta, A.; Serna, B. 2010b. El Salvador Efecto del Cambio Climático Sobre la Agricultura. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). Impreso en Naciones Unidas. México, D.F. 70 p.
- Pérez, J.; Cherrington, Anderson, E.; Morán, M.; Flores, A.; Trejos, N.; Sempris, E. C. 2009. La experiencia de la adaptación al cambio climático en la región de Mesoamérica. Publicado en Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas/ editado por Claudia Sepulveda y Muhammnad Ibrahim. 1ra ed. – Turrialba, C.R. CATIE, Series Técnica No 377. p 3-21.

- Pezzopane, JRM.; Júnior, MJP.; Thomaziello, RA.; Camargo, MBP. 2003. Metodologia e Técnica Experimentais. Escala para Avaliação de Estádios Fenológicos do Cafeeiro Arábica. *Bragantia*, Campinas 62(3): 499-505.
- Ramírez, P. 2007. Una revisión de Modelos Climáticos y la Proyección de Escenarios de Cambio Climático en América Central. Proyecto Bosques Tropicales y Adaptación al Cambio Climático – América Central (en línea). Consultado 8 Dic. 2009. Disponible en <http://www.cifor.cgiar.org/trofcca/america/reginfo/climinfo/Climate%20Change%20in%20Central%20America%20-%20PRamirez%2027.09.07.pdf>
- Rodriguez, A. 2007. Cambio climático y agricultura: implicaciones para la adaptación y las políticas públicas. Conferencia en el VIII Foro Regional Andino para el dialogo y la integración de la Educación Agropecuaria y rural. Lima, Perú 27 de noviembre de 2007.
- Rojas, O. 1987. Zonificación Agroecológica para el Cultivo del Café (*Coffea Arabica*). En Costa Rica. IICA. SERIE Publicaciones Misceláneas. 83 P.
- Salisbury, FB; Ross, CW. 1994. Fisiología Vegetal. Trad. V González Velázquez. 4 ed. California, US. Iberoamérica. 759 p.
- Segura, A. 1990. Algunas Características Fisiológicas del Cafeto y su Relación con la Nutrición Mineral. VIII Curso Regional Sobre Fundamentos de la Caficultura Moderna. Módulo IV. Del 9 de Julio al 10 de agosto de 1999. IICA /PROMECAFE. Turrialba, CR. 236 p.
- SERNA (Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente, Honduras). 2000. Primera Comunicación de Honduras a la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. Año de referencia 1995. Proyecto HON/97/G31 Cambio Climático. 106 p.
- Stuart, R.; Alvares, R.; Baird, B.; Estrada, A.; Gawronski, V.; Sarmiento, J. 2001. The Storms of 98, Hurricanes Georges and Mitch: Impacts, Institutional Response, and Disaster Politics in Three Countries. Natural Hazards Research and Applications Information Center, Special Publication 38. Colorado, US. (en línea), consultado el 19 de dic. 2010. Disponible en: <http://www.colorado.edu/hazards>
- UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). 2004. Cambio Climático. Carpeta de Información. Impreso en Suiza. 65 p. (en línea) consultado 7 de oct 2011. Disponible en: http://unfccc.int/resource/docs/publications/infokit_2004_sp.pdf
- Uribe, E.; Jiménez, A. 2010. Feasibility Analysis of Meteorological Regular Grids for Honduras. The World Bank. 37 p.

- Valencia, A.G. 1973. Relación entre el índice del área foliar y la productividad del cafeto. *Cenicafe* 24(4):79-89.
- Villalobos, FR; Renata,BJ. 1999. Estudios de Cambio Climático en Costa Rica. Componente Agrícola. Evaluación de la vulnerabilidad de la agricultura de Costa Rica al Cambio Climático. Caso de Estudio: Café. San José. CR.14 p.
- Villers, L.; Arizpe, N.; Orellana, R.; Conde, C.; Hernández, J. 2009. Impactos del Cambio Climático en la Floración y Desarrollo del Fruto del Café en Veracruz, México. *Interciencia* 4(8): 322-329.
- Wallis, J. A. N. (1963). Water use by irrigated Arabica coffee in Kenya. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 60:381-388.
- Wintgens, N. 2009. *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production*. Ed. Jean Nicolas Wintgens. 2 ed. Weinheim, DE. 982 p.
- Wooldridge, JM. 2006. *Introducción a la econometría. Un enfoque moderno*. 2 ed. Impreso en España. 960 p.
- Wrigley, G. 1988. *Coffee*. Tropical Agriculture series. Longman Scientific & Technical. Essex, England. 639 p.

9 ANEXOS

Anexo 1. Número de meses faltantes por año para la variable temperatura en las estaciones meteorológicas seleccionadas

| Departamento | Estación | Código | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|-------------------|------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Comayagua | Playitas | 25084 | | 6 | 4 | | 1 | | 1 | | | |
| Copán | Santa Rosa | 78717 | | | | | | | | | | 4 |
| Cortés | La Mesa | 78708 | | | | 1 | | | | | | |
| El Paraíso | Villa Ahumada | 39009 | 1 | 1 | | 1 | 8 | 6 | | 7 | | |
| Francisco Morazán | Tegucigalpa | 78720 | | | | | | | | | | |
| Intibucá | La Esperanza | 78719 | | | | | | | | | | 3 |
| Ocatepeque | Nueva Ocatepeque | 78718 | 9 | 1 | | | | | | | | |
| Olancho | Catacamas | 78714 | | | | | | | | | | 5 |
| Santa Bárbara | Quimistan | 23010 | 12 | 5 | | | | | | | | 1 |
| Yoro | Yoro | 78707 | | | | | | | | | | 1 |

Anexo 2. Número de meses faltantes por año para la variable precipitación en las estaciones meteorológicas seleccionadas

| Departamento | Estación | Código | 1999 | 2000 | 2001 | 2003 | 2005 | 2007 | 2008 |
|-------------------|------------------|--------|------|------|------|------|------|------|------|
| Comayagua | Playitas | 25084 | | 6 | | | 1 | | |
| Copán | Santa Rosa | 78717 | | | | | | | 4 |
| Cortés | La Mesa | 78708 | | | | | | | |
| El Paraíso | San Lucas | 56015 | 1 | | | | | | |
| Francisco Morazán | Lepaterique | 54009 | 2 | | 1 | | | | 2 |
| Intibucá | La Esperanza | 78719 | | | 1 | | | | |
| Lempira | Erandique | 46215 | | | | | 1 | 1 | 1 |
| Ocatepeque | Nueva Ocatepeque | 78718 | 9 | 1 | | | | | |
| Olancho | Catacamas | 78714 | | | | | | | 5 |
| Santa Bárbara | Quimistan | 23010 | | | | | | | 1 |
| Yoro | Yoro | 78707 | | | | | | | 1 |

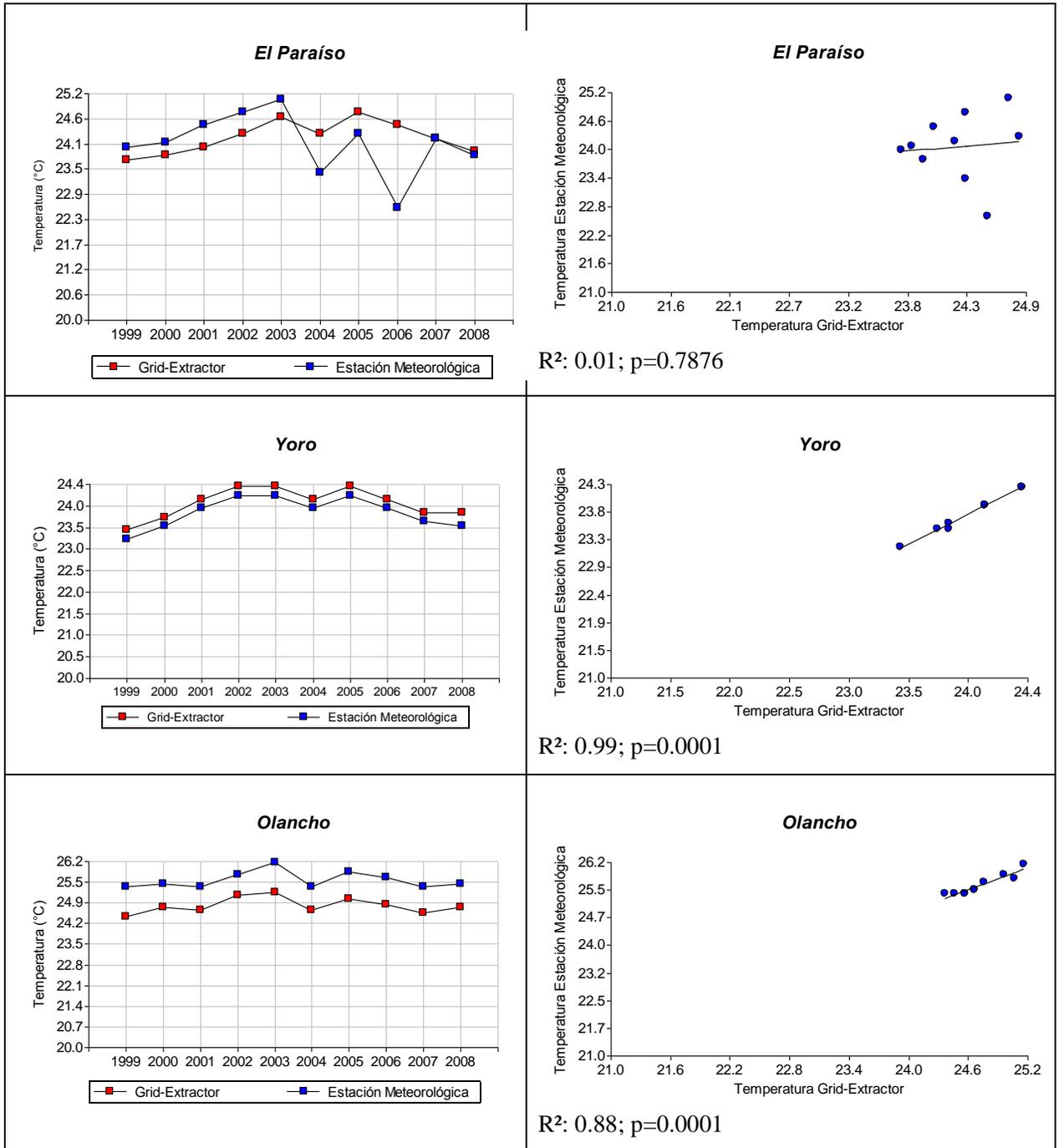
Anexo 3. Altitud y coordenadas geográficas de los nodos seleccionados por departamento para la variable temperatura

| Departamento | Nodo | msnm | Norte | Oeste | Nodo | msnm | Norte | Oeste |
|---------------|------|------|-----------------|-----------------|------|------|-----------------|-----------------|
| Comayagua | 137 | 1240 | 14° 48' 00.00'' | 87° 30' 00.00'' | 136 | 1628 | 14° 33' 36.00'' | 87° 30' 00.00'' |
| Copán | 41 | 1002 | 14° 48' 00.00'' | 88° 56' 24.00'' | 42 | 1230 | 15° 02' 24.00'' | 88° 56' 24.00'' |
| Cortés | 92 | 1695 | 15° 31' 12.01'' | 88° 13' 12.04'' | | | | |
| El Paraíso | 183 | 1314 | 14° 19' 12.01'' | 88° 46' 48.00'' | 213 | 1236 | 13° 50' 24.01'' | 88° 18' 00.00'' |
| | 197 | 920 | 13° 50' 24.00'' | 86° 32' 23.98'' | 230 | 929 | 14° 04' 48.00'' | 88° 03' 36.00'' |
| | 198 | 908 | 14° 04' 48.04'' | 86° 32' 24.00'' | | | | |
| Francisco M. | 166 | 1363 | 14° 04' 48.02'' | 87° 01' 12.00'' | 134 | 1429 | 14° 04' 48.00'' | 87° 30' 00.00'' |
| Intibucá | 103 | 955 | 14° 19' 12.00'' | 87° 58' 48.00'' | 104 | 1307 | 14° 33' 36.01'' | 87° 58' 48.00'' |
| Lempira | 70 | 944 | 14° 04' 48.00'' | 88° 27' 36.00'' | 73 | 1253 | 14° 48' 00.00'' | 88° 27' 36.00'' |
| | 71 | 1351 | 14° 19' 12.00'' | 88° 27' 36.00'' | | | | |
| Ocotepeque | 40 | 854 | 14° 33' 36.00'' | 88° 56' 24.00'' | | | | |
| Olancho | 201 | 793 | 14° 48' 00.00'' | 86° 32' 24.00'' | 282 | 556 | 15° 02' 24.00'' | 85° 20' 23.99'' |
| | 218 | 1061 | 15° 02' 24.00'' | 86° 18' 00.00'' | 283 | 834 | 15° 16' 48.00'' | 85° 20' 24.00'' |
| Santa Bárbara | 59 | 761 | 15° 16' 48.00'' | 88° 42' 00.00'' | 76 | 424 | 15° 31' 12.00'' | 88° 27' 36.00'' |
| | 74 | 1001 | 15° 02' 24.00'' | 88° 27' 36.00'' | | | | |
| Yoro | 154 | 725 | 15° 02' 24.00'' | 87° 15' 36.00'' | 171 | 726 | 15° 16' 48.00'' | 87° 01' 12.00'' |

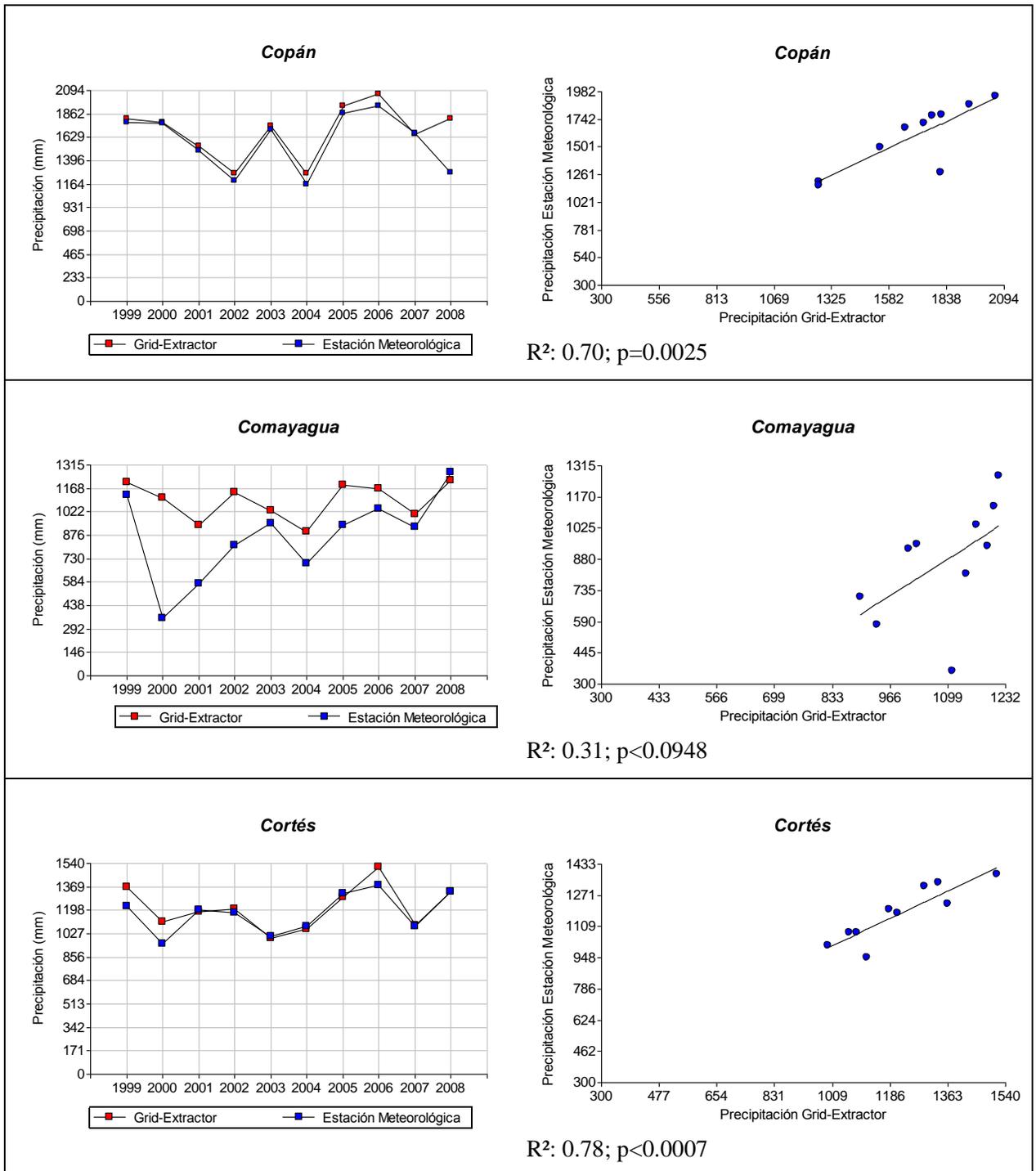
Anexo 4. Altitud y coordenadas geográficas de los nodos seleccionados por departamento para la variable precipitación

| Departamento | Nodo | msnm | Norte | Oeste | Nodo | msnm | Norte | Oeste |
|---------------|------|------|-----------------|-----------------|------|------|-----------------|-----------------|
| Comayagua | 1174 | 997 | 14° 28' 48.02'' | 87° 34' 48.00'' | 983 | 1509 | 14° 33' 36'' | 87° 54' 00'' |
| | 1179 | 1121 | 14° 52' 48.02'' | 87° 34' 48.00'' | 986 | 1329 | 14° 48' 00'' | 87° 54' 00'' |
| | 1225 | 1055 | 14° 43' 12.00'' | 87° 30' 00.00'' | | | | |
| Copán | 268 | 1309 | 14° 57' 36.00'' | 89° 06' 00.01'' | 266 | 955 | 14° 48' 00.01'' | 89° 06' 00.00'' |
| | 456 | 1471 | 14° 38' 24.00'' | 88° 46' 47.99'' | | | | |
| Cortés | 851 | 1111 | 15° 31' 12.00'' | 88° 08' 24.02'' | | | | |
| El Paraíso | 1700 | 1327 | 14° 19' 11.99'' | 86° 42' 00.01'' | 1891 | 1292 | 14° 14' 24.00'' | 86° 22' 48.00'' |
| | 1984 | 978 | 14° 00' 00.00'' | 86° 13' 12.00'' | 2033 | 1594 | 14° 04' 48.01'' | 86° 08' 24.00'' |
| | 2082 | 1082 | 14° 09' 36.00'' | 86° 03' 36.00'' | 1790 | 920 | 13° 50' 24.01'' | 86° 32' 24.05'' |
| Francisco M. | 1217 | 1429 | 14° 04' 47.99'' | 87° 29' 59.99'' | 1457 | 1513 | 14° 04' 48.02'' | 87° 06' 00.00'' |
| Intibucá | 693 | 1295 | 14° 24' 00.01'' | 88° 22' 48.01'' | 885 | 1081 | 14° 23' 59.97'' | 88° 03' 36.02'' |
| | 935 | 1307 | 14° 33' 36.00'' | 87° 58' 48.00'' | | | | |
| Lempira | 504 | 1008 | 14° 38' 24.00'' | 88° 42' 00.00'' | 602 | 1463 | 14° 48' 00.01'' | 88° 33' 24.00'' |
| | 547 | 1324 | 14° 14' 24.00'' | 88° 37' 11.99'' | | | | |
| Ocotepeque | 263 | 1566 | 14° 33' 36.02'' | 89° 06' 00.00'' | 309 | 1473 | 14° 24' 00.00'' | 89° 01' 12.00'' |
| | 265 | 1010 | 14° 43' 12.00'' | 89° 06' 00.00'' | 310 | 1107 | 14° 28' 48.02'' | 89° 01' 12.00'' |
| Olancho | 1950 | 1238 | 15° 07' 12.00'' | 86° 18' 00.00'' | 2139 | 1370 | 14° 52' 48.00'' | 85° 58' 48.00'' |
| | 2433 | 1253 | 15° 21' 36.00'' | 85° 30' 00.00'' | | | | |
| Santa Bárbara | 561 | 977 | 15° 21' 36.00'' | 88° 37' 12.00'' | 702 | 927 | 15° 07' 12.00'' | 88° 22' 48.00'' |
| | 605 | 1273 | 15° 02' 24.01'' | 88° 32' 33.99'' | 754 | 937 | 15° 26' 24.06'' | 88° 18' 00.03'' |
| | 699 | 1220 | 14° 52' 48.01'' | 88° 22' 48.00'' | 844 | 1524 | 14° 57' 36.03'' | 88° 08' 24.05'' |
| Yoro | 1230 | 1170 | 15° 07' 12.00'' | 87° 30' 00.01'' | 1421 | 1089 | 15° 02' 24.02'' | 87° 10' 48.01'' |
| | 1282 | 1340 | 15° 26' 24.00'' | 87° 25' 12.00'' | | | | |

Anexo 5. Comparación de temperaturas registradas por estaciones meteorológicas y valores estimados por el Grid-Extractor en los departamentos de El Paraíso, Yoro y Olancho



Anexo 6. Comparación de precipitación registrada por estaciones meteorológicas y valores estimados por el Grid-Extractor en los departamentos de Copán, Comayagua y Cortés



Anexo 7. Encuesta utilizada por técnicos del IHCAFE para estimar producción de café

| | | | |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------|---------------|
| Instituto Hondureño del Café | | | |
| Gerencia Técnica | | | |
| Encuesta para estimar la producción de café cosecha 20____/20____ | | | |
| Nombre del productor: | | | |
| Tarjeta de Identidad: | | Clave de Productor: | |
| Manzanas sembradas con Café: | Producción: | Plantía: | |
| Producción de Café obtenida en la cosecha 20____/20____: | | | Quintales Oro |
| Estimación de Café por obtener en cosecha 20____/20____: | | | Quintales Oro |
| Causas de la variación: | | | |
| | | | |
| Lugar y Fecha de la consulta | | Nombre Encuestador | |

Anexo 8. Recibo de comprobante y consulta de información para la entrega de café

| Instituto Hondureño del Café | | | | Región No.: 5 | Agencia No.: J | | | | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------|--------|----------|--------|--------|
| Documento de recibo de comprobantes y consulta de información | | | | | | | | | |
| 1. DATOS DEL PRODUCTOR DE CAFÉ | | | | | | | | | |
| Primer Nombre | Concepción | | Segundo Nombre | Heldorado | | | | | |
| Primer Apellido | Orosio | | Segundo Apellido | | | | | | |
| Cédula Identidad | J502-54-0095 | | Clave Productor | 5-3-4682 | | | | | |
| Edad: 74 | Sexo Masculino= <input type="checkbox"/> | Femenino= <input checked="" type="checkbox"/> | Recibe asistencia técnica del IHCAFE | | | | | | |
| Sabe leer y escribir: <input checked="" type="checkbox"/> | Educación: 2º grado | | No. de dependientes: 6 | | | | | | |
| Números de | Casa : | | Trabajo : | | | | | | |
| Teléfonos | Celular : | 9609-9107 | Comunitario : | | | | | | |
| 2. DETALLE DE COMPROBANTES Y CANTIDADES | | | | | | | | | |
| No. | Número | Cantidad | Unidad | Estado | No. | Número | Cantidad | Unidad | Estado |
| 1 | 2417859 | 4.52 | ca | ca | 6 | | | | |
| 2 | 3006079 | 17.16 | ca | ca | 7 | | | | |
| 3 | 3006077 | 30.24 | ca | ca | 8 | | | | |
| 4 | | | | | 9 | | | | |
| 5 | | | | | 10 | | | | |
| 3. DIRECCION DEL DOMICILIO DEL PRODUCTOR | | | | | | | | | |
| Aldea o Ciudad | | Municipio | | Departamento | | | | | |
| Ojo de Agua | | Lorain | | Comayagua | | | | | |
| 4. DETALLE DE AREAS, PRODUCCION Y UBICACION DE FINCAS | | | | | | | | | |
| No. | Manzanas Producción | Manzanas Plantía | Producción QQ Oro | Aldea, Municipio y Departamento | | | | | |
| 1 | 3 | - | 51.92 | Materano, Comayagua | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5. ORGANIZACION CAFETALERA A LA QUE ESTA AFILIADO O ASOCIADO | | | | | | | | | |
| AHPROCAFE <input checked="" type="checkbox"/> ANACAFEH <input type="checkbox"/> CCCH <input type="checkbox"/> UNIOCOOP <input type="checkbox"/> NINGUNA <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | |
| Cooperativa a la que está afiliado: Comayagua orosio | | | | | | | | | |
| Lugar y fecha de la Recepción y consulta | | | | | | | | | |
| Linda Valenzuela | | |  | | | | | | |
| Nombre de quien recibe y consulta por IHCAFE | | | Firma del representante del IHCAFE y sello | | | | | | |
| Original: Programa de Apoyo Económico en Tegucigalpa 1ra. Copia: Productor 2da. Copia: Agencia | | | | | | | | | |

Anexo 9. Listados de productores de El Paraíso datos del ciclo de cosecha 2003-2004 al 2009-2010

| # | Nombre | Cooperativa | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|----|--------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | Abel Talavera | COMICAOL | | | | X | | X | |
| 2 | Abelino Midence | COMICAOL | X | X | X | | | X | X |
| 3 | Águeda Jiménez | COMIPIL | X | X | X | X | X | X | X |
| 4 | Alexis Amador | COMICAOL | | | | | X | | |
| 5 | Ana Isabel Rivas | COMICAOL | | | | | X | X | |
| 6 | Bladimiro Salgado | COMICAOL | | X | X | | | | X |
| 7 | Carlos Adalberto Mendoza | COMICAOL | X | X | X | | | X | X |
| 8 | Carlos Hernán Moncada | COMIPIL | | | | X | X | X | X |
| 9 | Constantino Salinas | COMICAOL | | | | | | | X |
| 10 | Daniel Miguel | COMIPIL | | | | X | X | X | X |
| 11 | Daniel Napoleón Merlo González | COMICAOL | X | X | X | X | | X | X |
| 12 | Daniel Salinas Eguigurens | COMICAOL | | | | | X | X | |
| 13 | Darío Alfredo Sanchez | COMIPIL | | | | X | X | | X |
| 14 | Denis Alfredo Sánchez | COMIPIL | | | | | X | | |
| 15 | Derica Olivia Gómez | COMIPIL | | | | X | X | X | X |
| 16 | Edwin Armando Arauz | COMICAOL | X | X | X | X | | X | X |
| 17 | Elba Rosa Valladares | COMICAOL | | | | | | X | X |
| 18 | Elvin Wilson Ucle | COMIPIL | | | | | X | | X |
| 19 | Esperanza Caridad Rodriguez | COMIPIL | | | | | | X | X |
| 20 | Ethelvina Vallejo Scoto | COMICAOL | X | X | | | | | X |
| 21 | Eusebio Valladares | COMIPIL | | | | X | X | X | X |
| 22 | Eva López | COMICAOL | | | | | X | X | |
| 23 | Fernando Mercí Maradiaga | COMICAOL | X | X | X | X | | X | X |
| 24 | Héctor Rogelio Zelaya | COMICAOL | | | | | | X | X |
| 25 | Henry Mendoza González | COMIPIL | X | X | X | X | X | X | X |
| 26 | Herís Noel Gómez | COMIPIL | | | | X | X | X | X |
| 27 | Humberto Nery González | COMICAOL | | | | | X | X | |
| 28 | Isidoro Ponce Arocu | COMICAOL | X | X | X | | | | |
| 29 | José Alfredo Torres | COMICAOL | | | | | X | X | |
| 30 | José Celedonio Núñez Ávila | COMIPIL | | | X | X | X | X | X |
| 31 | José Dimas Rivas | COMICAOL | | | | | X | X | X |
| 32 | Jose Fabio Moncada | COMIPIL | | | | | | X | X |
| 33 | José Huraul Sevilla | COMIPIL | | | | X | X | X | X |
| 34 | José Isabel Salinas | COMICAOL | | | | X | X | X | X |
| 35 | José Oswaldo López García | COMIPIL | X | X | X | X | X | X | X |

Observación: X marca el año registrado.

Anexo 10. Continuación listado productores de El Paraíso datos del ciclo productivo 2003-2004 al 2009-2010

| # | Nombre | Cooperativa | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|----|--------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 36 | Josefo Rivas | COMICAOL | | | | X | | X | |
| 37 | Juan Ángel Moncada | COMIPIL | | | | X | X | X | X |
| 38 | Juan Ucles | COMIPIL | | | | X | | X | |
| 39 | Juana Marleni Montoya Amador | COMICAOL | X | X | X | | | X | |
| 40 | Juana Paola Mendoza de Sevilla | COMICAOL | X | X | X | | | | |
| 41 | Julia del Carmen Rivas | COMICAOL | | | | | X | | X |
| 42 | Leandro Arzobispo Gómez | COMIPIL | | | | | X | X | X |
| 43 | Leoncio Sevilla Flores | COMIPIL | X | X | X | X | X | X | X |
| 44 | Manuel Orlando Molina | COMICAOL | X | X | X | | | | |
| 45 | Marcos Pérez | COMICAOL | | | | | | X | |
| 46 | María de los Santos González | COMIPIL | | | | X | X | X | X |
| 47 | María Petrona Gómez | COMIPIL | | | | X | | | X |
| 48 | Martín Ernesto López M. | COMIPIL | X | X | X | X | X | | X |
| 49 | Natividad Irías Salgado | COMICAOL | X | X | X | | X | X | X |
| 50 | Nicolás Sanchez | COMICAOL | | | | | | X | |
| 51 | Octavio Isabel Mendoza | COMICAOL | X | X | X | | X | X | X |
| 52 | Orbin Armando Gómez | COMIPIL | | | | | X | X | X |
| 53 | Pantaleón Zuniga | COMICAOL | | | | X | | | X |
| 54 | Rafael Antonio Gómez | COMIPIL | | | | | X | | |
| 55 | Rafael Antonio Ríos | COMIPIL | | X | X | X | X | X | X |
| 56 | Rigoberto Mairena | COMICAOL | | X | X | | X | X | X |
| 57 | Santos Inginia Gómez | COMIPIL | | | X | | | | |
| 58 | Santos Rufino Moncada González | COMIPIL | | X | X | X | | | X |
| 59 | Santos Siriaco Gómez | COMIPIL | | X | X | X | X | X | X |
| 60 | Santos Treminio Castillo | COMICAOL | X | X | X | | X | | X |
| 61 | Silvia | COMIPIL | | | | X | | | |
| 62 | Sonia Isabel Valladares | COMICAOL | X | X | X | | X | | X |
| 63 | Susana Irías Salgado | COMICAOL | X | X | X | | X | X | X |
| 64 | Teresa de Jesús Vallecillo | COMICAOL | | | | | X | X | |
| 65 | Tomas Izaguirre Vásquez | COMICAOL | X | X | X | | | | |
| 66 | Valentín Pérez Sánchez | COMICAOL | X | X | X | | | | X |
| 67 | Víctor Alexis Amador | COMICAOL | X | X | X | | | X | X |
| 68 | Wilberto Garcia | COMICAOL | | | | | | X | X |

Observación: X marca el año registrado.

Anexo 11. Precipitación mensual de la estación meteorológica de San Lucas (56015) utilizadas a nivel de productor

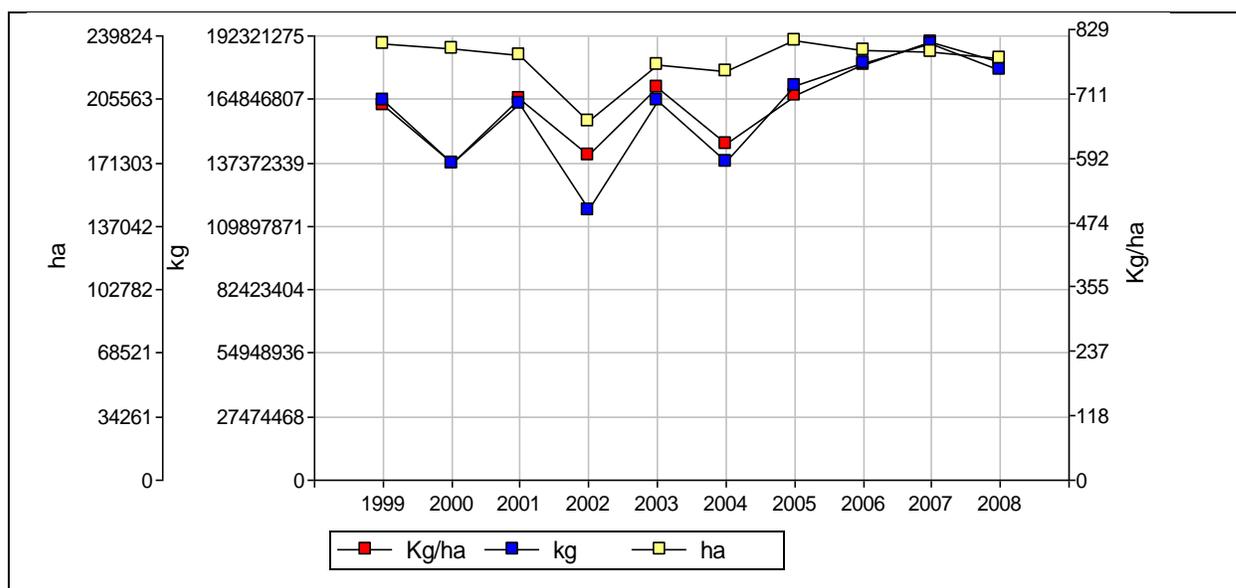
| Año | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC | TOTAL |
|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| 2003 | 0.4 | 3.8 | 34.7 | 26.5 | 211.6 | 357.8 | 61.6 | 129.9 | 230.3 | 156.3 | 17.5 | 0 | 1230.4 |
| 2004 | 14.7 | 2 | 9.7 | 23.5 | 148.6 | 115.9 | 161.2 | 78.6 | 292.4 | 232.7 | 31.2 | 0 | 1110.5 |
| 2005 | 0 | 0 | 0 | 15 | 306 | 555.3 | 253.3 | 182.6 | 313.8 | 416 | 5.7 | 2 | 2049.7 |
| 2006 | 6 | 2.2 | 0 | 38.8 | 134.3 | 270.1 | 71.5 | 102.2 | 179.7 | 244 | 35.7 | 17.1 | 1101.6 |
| 2007 | 2.8 | 0 | 13 | 109.1 | 108.5 | 201.3 | 93.7 | 238.7 | 369.5 | 572.3 | 13.9 | 2.3 | 1725.1 |
| 2008 | 0 | 65.9 | 8.3 | 71.2 | 162.7 | 183.7 | 292.2 | 216.2 | 357.5 | 345.7 | 0 | 0 | 1703.4 |
| 2009 | 6 | 0 | 0 | 0 | 190.2 | 544.6 | 85.3 | 52.8 | 103.4 | 211.9 | 27.1 | 28.7 | 1250.0 |

Observación: celda vacía significa dato faltante.

Anexo 12. Número de registros por año de las prácticas pre cosecha

| Prácticas pre cosecha | observaciones | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | Total | % |
|-----------------------|---------------|------|------|------|------|------|-------|----|
| | | n=29 | n=28 | n=38 | n=46 | n=47 | 188 | |
| Abono convencional | 188 | 18 | 24 | 33 | 41 | 38 | 154 | 82 |
| Abono orgánico | 188 | 7 | | | 1 | 3 | 11 | 6 |
| Fungicida | 188 | | 3 | 4 | 6 | 4 | 17 | 9 |
| Foliar | 188 | 1 | 4 | 9 | 10 | 7 | 31 | 16 |
| Regulación de sombra | 188 | 19 | 13 | 17 | 26 | 16 | 91 | 48 |
| Poda Sanitaria | 188 | 6 | 8 | 12 | 24 | 14 | 64 | 34 |

Anexo 13. Número de registros por año de las prácticas pre cosecha



Anexo 14. Medidas de resumen de la precipitación mensual del año 2003 al 2009 de la estación meteorológica de San Lucas (56015)

| Variable | ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|----------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Media | 4.27 | 10.6 | 9.39 | 40.59 | 180.3 | 318.4 | 145.5 | 143 | 263.8 | 311.3 | 18.7 | 7.16 |
| D.E. | 5.3 | 24.5 | 12.4 | 37.48 | 65.15 | 175.1 | 93.28 | 70.95 | 97.63 | 144.3 | 13.3 | 11.3 |
| E.E. | 2 | 9.24 | 4.68 | 14.16 | 24.62 | 66.2 | 35.26 | 26.82 | 36.9 | 54.53 | 5.02 | 4.27 |
| CV | 124 | 232 | 132 | 92.34 | 36.14 | 55.01 | 64.09 | 49.62 | 37.01 | 46.35 | 70.9 | 158 |
| Mín | 0 | 0 | 0 | 0 | 108.5 | 115.9 | 61.6 | 52.8 | 103.4 | 156.3 | 0 | 0 |
| Máx | 14.7 | 65.9 | 34.7 | 109.1 | 306 | 555.3 | 292.2 | 238.7 | 369.5 | 572.3 | 35.7 | 28.7 |
| Suma | 29.9 | 73.9 | 65.7 | 284.1 | 1262 | 2229 | 1019 | 1001 | 1847 | 2179 | 131 | 50.1 |

Anexo 15. Medidas de resumen de la productividad ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) del ciclo de cosecha 2005-2006 al 2009-2010

| Ciclo de cosecha | n | Media | D.E. | CV | Mín | Máx |
|------------------|----|--------|--------|-------|--------|---------|
| 2005-2006 | 29 | 601.66 | 293.2 | 48.73 | 130.94 | 1336.7 |
| 2006-2007 | 28 | 515.4 | 362.15 | 70.27 | 56 | 1464.49 |
| 2007-2008 | 38 | 494.66 | 239.2 | 48.36 | 130.94 | 1148.36 |
| 2008-2009 | 46 | 550.42 | 302.83 | 55.02 | 152.77 | 1479.65 |
| 2009-2010 | 47 | 528.47 | 234.36 | 44.35 | 196.41 | 1094.3 |

Anexo 16. Medidas de resumen de la fertilización convencional ($\text{kg ha}^{-1} \text{año}^{-1}$) del ciclo de cosecha 2005-2006 al 2009-2010

| Ciclo de cosecha | n | Media | D.E. | CV | Mín | Máx |
|------------------|----|--------|--------|--------|-----|--------|
| 2005-2006 | 29 | 132.88 | 137.03 | 103.12 | 0 | 430.39 |
| 2006-2007 | 28 | 254.93 | 176.44 | 69.21 | 0 | 612.84 |
| 2007-2008 | 38 | 268.77 | 182.69 | 67.97 | 0 | 688.61 |
| 2008-2009 | 46 | 223.52 | 154.51 | 69.13 | 0 | 673.66 |
| 2009-2010 | 47 | 239.58 | 185.53 | 77.44 | 0 | 774.71 |

Anexo 17. Medidas de resumen de la regulación de sombra (jornales ha⁻¹ año⁻¹) del ciclo de cosecha 2005-2006 al 2009-2010

| Ciclo de cosecha | n | Media | D.E. | CV | Mín | Máx |
|------------------|----|-------|------|--------|-----|-------|
| 2005-2006 | 29 | 2.49 | 3.85 | 154.62 | 0 | 17.08 |
| 2006-2007 | 28 | 1.89 | 2.72 | 143.46 | 0 | 8.54 |
| 2007-2008 | 38 | 2.1 | 3.18 | 151.1 | 0 | 9.68 |
| 2008-2009 | 46 | 2.29 | 3.16 | 138.21 | 0 | 16.65 |
| 2009-2010 | 47 | 1.52 | 3.11 | 203.8 | 0 | 17.08 |

Anexo 18. Medidas de resumen de la poda sanitaria (jornales ha⁻¹ año⁻¹) del ciclo de cosecha 2005-2006 al 2009-2010

| Ciclo de cosecha | n | Media | D.E. | CV | Mín | Máx |
|------------------|----|-------|------|--------|-----|-------|
| 2005-2006 | 29 | 0.51 | 1.46 | 286.17 | 0 | 7.12 |
| 2006-2007 | 28 | 1.56 | 3.54 | 227.14 | 0 | 15.18 |
| 2007-2008 | 38 | 0.93 | 1.66 | 177.77 | 0 | 5.69 |
| 2008-2009 | 46 | 1.31 | 2.06 | 157.39 | 0 | 11.39 |
| 2009-2010 | 47 | 0.73 | 1.64 | 223.38 | 0 | 8.54 |

Anexo 19. Temperatura registrada en la etapa de prefloración-floración en los departamentos

| Departamento | Media | CV | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|-------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Comayagua | 22.64 | 2.73 | 22.25 | 22.61 | 22.47 | 22.59 | 23.08 | 21.86 | 24.16 | 22.34 | 22.65 | 22.39 |
| Copán | 22.90 | 2.81 | 23.10 | 22.79 | 22.42 | 22.42 | 23.42 | 22.37 | 24.39 | 22.29 | 23.06 | 22.72 |
| Cortés | 27.72 | 1.46 | 27.80 | 27.59 | 27.34 | 27.83 | 28.23 | 27.15 | 28.53 | 27.63 | 27.60 | 27.53 |
| El Paraíso | 25.00 | 3.01 | 24.78 | 24.65 | 24.25 | 24.93 | 25.88 | 24.66 | 26.78 | 24.74 | 24.79 | 24.58 |
| Francisco Morazán | 23.34 | 2.57 | 23.11 | 22.88 | 22.98 | 23.44 | 23.84 | 22.97 | 24.85 | 23.12 | 23.18 | 23.03 |
| Intibucá | 17.78 | 3.25 | 16.99 | 17.24 | 17.43 | 17.92 | 17.79 | 17.65 | 18.95 | 17.67 | 18.50 | 17.62 |
| Lempira | 20.33 | 2.88 | 19.41 | 19.77 | 20.16 | 20.40 | 20.45 | 20.18 | 21.54 | 20.13 | 20.93 | 20.31 |
| Ocotepeque | 22.26 | 4.3 | 20.89 | 21.39 | 22.10 | 22.07 | 22.47 | 21.86 | 23.35 | 21.81 | 22.42 | 24.24 |
| Olancho | 25.36 | 2.9 | 25.07 | 25.52 | 24.30 | 25.31 | 26.47 | 25.00 | 26.77 | 25.06 | 25.19 | 24.95 |
| Santa Bárbara | 25.24 | 2.38 | 25.87 | 25.42 | 24.56 | 24.98 | 25.64 | 24.59 | 26.42 | 24.73 | 25.14 | 25.05 |
| Yoro | 24.57 | 2.64 | 24.31 | 24.59 | 24.55 | 24.27 | 25.26 | 23.81 | 26.07 | 24.18 | 24.42 | 24.20 |

Anexo 20. Temperatura registrada en el llenado del grano en los departamentos

| Departamento | Media | CV | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|-------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Comayagua | 23.46 | 0.78 | 23.09 | 23.39 | 23.51 | 23.76 | 23.60 | 23.39 | 23.48 | 23.58 | 23.30 | 23.53 |
| Copán | 23.46 | 1.36 | 23.08 | 22.93 | 23.31 | 23.39 | 23.67 | 23.82 | 23.88 | 23.55 | 23.28 | 23.72 |
| Cortés | 28.64 | 1.3 | 28.59 | 28.15 | 28.51 | 28.09 | 29.35 | 28.89 | 28.93 | 28.78 | 28.64 | 28.51 |
| El Paraíso | 25.18 | 1.34 | 24.66 | 24.75 | 24.94 | 24.97 | 25.46 | 25.30 | 25.52 | 25.67 | 25.30 | 25.18 |
| Francisco Morazán | 23.45 | 1.09 | 23.05 | 23.05 | 23.30 | 23.63 | 23.58 | 23.65 | 23.52 | 23.84 | 23.44 | 23.41 |
| Intibucá | 18.81 | 1.94 | 18.34 | 18.45 | 18.50 | 18.73 | 18.83 | 18.77 | 19.02 | 19.17 | 18.70 | 19.56 |
| Lempira | 21.06 | 2.43 | 20.24 | 20.42 | 20.74 | 20.79 | 21.30 | 21.33 | 21.44 | 21.57 | 20.97 | 21.81 |
| Ocatepeque | 22.36 | 3.19 | 21.15 | 21.58 | 22.25 | 22.57 | 22.44 | 22.52 | 22.61 | 22.52 | 22.14 | 23.87 |
| Olancho | 25.69 | 0.94 | 25.42 | 25.53 | 25.62 | 25.95 | 25.92 | 25.42 | 25.92 | 25.86 | 25.38 | 25.92 |
| Santa Bárbara | 26.30 | 1.36 | 26.23 | 25.82 | 25.97 | 25.79 | 26.71 | 26.57 | 26.67 | 26.35 | 26.17 | 26.68 |
| Yoro | 25.31 | 1.41 | 24.76 | 24.87 | 25.31 | 25.61 | 25.76 | 25.51 | 25.63 | 25.57 | 24.99 | 25.08 |

Anexo 21. Temperatura registrada en la maduración del grano en los departamentos

| Departamento | Media | CV | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|-------------------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Comayagua | 20.15 | 2.85 | 19.20 | 20.43 | 20.38 | 21.08 | 19.83 | 20.17 | 20.03 | 20.28 | 19.37 | 20.72 |
| Copán | 20.01 | 4.37 | 18.36 | 20.19 | 19.99 | 20.65 | 19.52 | 20.36 | 19.72 | 19.98 | 19.60 | 21.77 |
| Cortés | 25.03 | 2.29 | 24.26 | 25.27 | 25.27 | 26.01 | 24.69 | 25.17 | 25.17 | 25.44 | 25.00 | 24.05 |
| El Paraíso | 22.44 | 2.89 | 21.74 | 22.77 | 22.98 | 22.93 | 23.04 | 22.42 | 22.79 | 22.79 | 21.85 | 21.14 |
| Francisco Morazán | 20.81 | 2.39 | 19.98 | 21.08 | 21.33 | 21.38 | 20.97 | 20.94 | 21.03 | 21.02 | 20.19 | 20.22 |
| Intibucá | 16.50 | 7.61 | 15.28 | 16.31 | 16.35 | 16.58 | 15.84 | 16.34 | 16.14 | 16.43 | 15.81 | 19.90 |
| Lempira | 18.69 | 7.58 | 16.95 | 18.49 | 18.41 | 18.76 | 18.06 | 18.62 | 18.36 | 18.67 | 18.16 | 22.45 |
| Ocatepeque | 19.69 | 6.01 | 16.89 | 20.06 | 19.79 | 20.17 | 19.36 | 19.91 | 19.63 | 19.79 | 19.57 | 21.74 |
| Olancho | 23.09 | 2.54 | 22.41 | 23.48 | 23.75 | 23.99 | 23.44 | 22.95 | 22.86 | 23.24 | 22.32 | 22.44 |
| Santa Bárbara | 22.48 | 2.35 | 21.93 | 22.53 | 22.46 | 23.25 | 21.90 | 22.66 | 22.20 | 22.37 | 22.06 | 23.47 |
| Yoro | 21.84 | 3.43 | 20.47 | 22.11 | 22.36 | 23.00 | 21.85 | 22.13 | 21.81 | 22.42 | 21.32 | 20.95 |

Anexo 22. Precipitación registrada en la etapa de prefloración-floración en los departamentos

| Departamento | Media | CV | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Comayagua | 46 | 33.3 | 41 | 21 | 39 | 41 | 39 | 78 | 55 | 37 | 55 | 56 |
| Copán | 71 | 78.1 | 32 | 31 | 43 | 16 | 207 | 62 | 107 | 79 | 51 | 79 |
| Cortés | 56 | 59.6 | 58 | 2 | 71 | 20 | 56 | 109 | 90 | 25 | 82 | 48 |
| El Paraíso | 42 | 61.1 | 37 | 12 | 11 | 46 | 44 | 99 | 30 | 31 | 63 | 49 |
| Francisco Morazán | 53 | 50.9 | 46 | 57 | 32 | 17 | 49 | 116 | 51 | 64 | 67 | 33 |
| Intibucá | 60 | 47.0 | 37 | 34 | 45 | 50 | 38 | 102 | 117 | 51 | 58 | 71 |
| Lempira | 87 | 57.2 | 54 | 35 | 101 | 18 | 193 | 104 | 122 | 74 | 68 | 99 |
| Ocatepeque | 68 | 52.3 | 72 | 12 | 32 | 25 | 82 | 78 | 105 | 111 | 103 | 56 |
| Olancho | 51 | 65.6 | 53 | 26 | 47 | 43 | 60 | 127 | 29 | 25 | 82 | 15 |
| Santa Bárbara | 44 | 50.3 | 46 | 10 | 46 | 24 | 64 | 86 | 50 | 28 | 30 | 54 |
| Yoro | 118 | 68.9 | 54 | 24 | 87 | 140 | 97 | 205 | 60 | 76 | 294 | 139 |

Anexo 23. Precipitación registrada en el llenado del grano en los departamentos

| Departamento | Media | CV | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Comayagua | 946 | 12.8 | 1070 | 969 | 812 | 929 | 874 | 744 | 1070 | 1029 | 867 | 1098 |
| Copán | 1449 | 18.3 | 1646 | 1584 | 1320 | 996 | 1321 | 1058 | 1710 | 1724 | 1481 | 1646 |
| Cortés | 766 | 22.4 | 832 | 633 | 863 | 826 | 528 | 547 | 792 | 1001 | 642 | 997 |
| El Paraíso | 943 | 18.9 | 927 | 857 | 827 | 930 | 700 | 894 | 1096 | 809 | 1067 | 1327 |
| Francisco Morazán | 1067 | 18.8 | 1277 | 1173 | 885 | 882 | 969 | 775 | 1380 | 995 | 1273 | 1062 |
| Intibucá | 1355 | 16.4 | 1526 | 1406 | 1233 | 1416 | 1114 | 981 | 1636 | 1661 | 1372 | 1202 |
| Lempira | 1745 | 17.6 | 2001 | 1803 | 1594 | 1377 | 1649 | 1644 | 2491 | 1699 | 1604 | 1585 |
| Ocatepeque | 1536 | 15.8 | 1619 | 1406 | 1298 | 1177 | 1525 | 1508 | 1712 | 1999 | 1367 | 1749 |
| Olancho | 831 | 23.1 | 1087 | 989 | 1059 | 997 | 693 | 578 | 816 | 613 | 654 | 825 |
| Santa Bárbara | 927 | 14.9 | 911 | 1067 | 975 | 841 | 822 | 775 | 959 | 917 | 782 | 1221 |
| Yoro | 1294 | 19.9 | 1590 | 1168 | 1423 | 989 | 1227 | 1060 | 1795 | 1035 | 1292 | 1360 |

Anexo 24. Precipitación registrada en la maduración del grano en los departamentos

| Departamento | Media | CV | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Comayagua | 59 | 42.4 | 56 | 98 | 34 | 76 | 55 | 56 | 55 | 79 | 75 | 9 |
| Copán | 106 | 45.7 | 51 | 102 | 136 | 145 | 129 | 91 | 105 | 195 | 75 | 30 |
| Cortés | 267 | 26.3 | 306 | 357 | 184 | 274 | 246 | 247 | 352 | 319 | 247 | 138 |
| El Paraíso | 116 | 36.5 | 72 | 109 | 67 | 97 | 174 | 150 | 115 | 151 | 167 | 60 |
| Francisco Morazán | 39 | 59.7 | 40 | 23 | 33 | 51 | 42 | 42 | 17 | 96 | 28 | 17 |
| Intibucá | 57 | 58.8 | 61 | 104 | 73 | 58 | 73 | 47 | 30 | 100 | 20 | 0.2 |
| Lempira | 85 | 47.1 | 40 | 73 | 136 | 115 | 99 | 69 | 83 | 152 | 56 | 29 |
| Ocatepeque | 32 | 64.9 | 12 | 21 | 36 | 40 | 44 | 24 | 54 | 70 | 19 | 1 |
| Olancho | 199 | 45.3 | 284 | 288 | 135 | 216 | 336 | 211 | 182 | 137 | 171 | 27 |
| Santa Bárbara | 151 | 31.6 | 228 | 174 | 138 | 164 | 115 | 129 | 152 | 215 | 125 | 67 |
| Yoro | 295 | 36.3 | 402 | 417 | 143 | 248 | 386 | 225 | 407 | 279 | 312 | 136 |

Anexo 25. Análisis econométrico de regresión múltiple de la productividad en función de la temperatura y precipitación anual con datos departamentales

```
. xtreg kgha ppanual tanual,fe
Fixed-effects (within) regression
Group variable: depnum
R-sq:  within = 0.0717
       between = 0.4616
       overall = 0.3807
corr(u_i, xb) = -0.8383
Number of obs   =    110
Number of groups =     11
Obs per group:  min =     10
                avg  =    10.0
                max  =     10
F(2,97)         =     3.75
Prob > F        =    0.0271
```

| | Coef. | Std. Err. | t | P> t | [95% Conf. Interval] | |
|---------|-----------|-----------------------------------|-------|-------|----------------------|----------|
| kgha | | | | | | |
| ppanual | .0463992 | .0443331 | 1.05 | 0.298 | -.0415898 | .1343881 |
| tanual | 61.32187 | 23.65692 | 2.59 | 0.011 | 14.36943 | 108.2743 |
| _cons | -736.214 | 548.3344 | -1.34 | 0.183 | -1824.506 | 352.0779 |
| sigma_u | 417.15594 | | | | | |
| sigma_e | 100.25498 | | | | | |
| rho | .94539548 | (fraction of variance due to u_i) | | | | |

```
F test that all u_i=0:      F(10, 97) =    48.61      Prob > F = 0.0000
```

Observación: Comando para modelo de efecto fijo (xtreg), Coeficientes estimados de las variables (Coef.), desviación típica o error estándar (Std. Err), estadístico (t), probabilidad (P>|t|), intervalo de confianza al 95% ([95% Conf. Interval]), R-sq: within mide el coeficiente de determinación R^2 y es el que se toma en cuenta para el modelo de efecto fijo. Observaciones temporales existentes para cada grupo, en este caso son los años (**Obs per group**).

Anexo 26. Análisis econométrico de regresión múltiple de la productividad en función de la temperatura y precipitación registrada en las etapas fenológicas del cultivo de café con datos departamentales

```

. xtset depnum Año
    panel variable:  depnum (strongly balanced)
    time variable:  Año, 1999 to 2008
                delta:  1 unit

. xtreg kgha preflo_pp llena_pp mad_pp preflo_t llena_t mad_t,fe
Fixed-effects (within) regression      Number of obs   =    110
Group variable: depnum                 Number of groups =    11

R-sq:  within = 0.1040                   Obs per group:  min =    10
        between = 0.4333                   avg             =   10.0
        overall = 0.3573                   max             =    10

corr(u_i, xb) = -0.8615                   F(6, 93)        =    1.80
                                                Prob > F         =    0.1079

```

| | Coef. | Std. Err. | t | P> t | [95% Conf. Interval] | |
|-----------|-----------|-----------------------------------|-------|-------|----------------------|----------|
| kgha | | | | | | |
| preflo_pp | -.1036625 | .2647596 | -0.39 | 0.696 | -.6294225 | .4220976 |
| llen_a_pp | .0247151 | .0501384 | 0.49 | 0.623 | -.0748499 | .1242801 |
| mad_pp | .0161798 | .1849042 | 0.09 | 0.930 | -.3510033 | .383363 |
| preflo_t | 10.33629 | 19.01786 | 0.54 | 0.588 | -27.42941 | 48.10198 |
| llen_a_t | 87.04752 | 37.3681 | 2.33 | 0.022 | 12.84187 | 161.2532 |
| mad_t | -22.72714 | 14.60202 | -1.56 | 0.123 | -51.72385 | 6.269571 |
| _cons | -1145.214 | 652.1065 | -1.76 | 0.082 | -2440.168 | 149.7401 |
| sigma_u | 459.18175 | | | | | |
| sigma_e | 100.59347 | | | | | |
| rho | .95420561 | (fraction of variance due to u_i) | | | | |

```

F test that all u_i=0:      F(10, 93) =    34.76      Prob > F = 0.0000

```

Anexo 27. Análisis econométrico de regresión múltiple de la productividad en función de la precipitación anual, fertilizante, regulación de sombra y poda sanitaria a nivel de productores (2005-2009)

```

. xtreg kgha ppanual kgha_fert jorrsomb_ha jorpodasa_ha,fe
Fixed-effects (within) regression      Number of obs   =    188
Group variable: nombnum                 Number of groups =    69

R-sq:  within = 0.0352                   Obs per group:  min =    1
        between = 0.2603                   avg             =    2.7
        overall = 0.1246                   max             =    5

corr(u_i, xb) = 0.2433                   F(4, 115)       =    1.05
                                                Prob > F         =    0.3854

```

| | coef. | Std. Err. | t | P> t | [95% Conf. Interval] | |
|--------------|-----------|-----------------------------------|-------|-------|----------------------|----------|
| kgha | | | | | | |
| ppanual | .0860988 | .0653617 | 1.32 | 0.190 | -.0433701 | .2155677 |
| kgha_fert | .3032815 | .1892703 | 1.60 | 0.112 | -.0716266 | .6781896 |
| jorrsomb_ha | -3.602681 | 7.546327 | -0.48 | 0.634 | -18.5505 | 11.34514 |
| jorpodasa_ha | 4.201595 | 11.82814 | 0.36 | 0.723 | -19.22767 | 27.63086 |
| _cons | 336.3327 | 119.3205 | 2.82 | 0.006 | 99.98177 | 572.6836 |
| sigma_u | 207.32385 | | | | | |
| sigma_e | 250.42959 | | | | | |
| rho | .40665967 | (fraction of variance due to u_i) | | | | |

```

F test that all u_i=0:      F(68, 115) =    1.36      Prob > F = 0.0725

```

Anexo 28. Análisis de regresión múltiple de la productividad en función de la precipitación registrada en las etapas fenológicas del cultivo de café, y manejo a nivel de productores (2005-2009)

```
. xtreg kgha preflo_pp llenap_pp mad_pp kgha_fert jorrsomb_ha jorpodasa_ha,fe
```

Fixed-effects (within) regression
 Group variable: nombnum
 Number of obs = 188
 Number of groups = 69
 R-sq: within = 0.0875
 between = 0.1570
 overall = 0.1307
 obs per group: min = 1
 avg = 2.7
 max = 5
 corr(u_i, xb) = 0.1055
 F(6,113) = 1.81
 Prob > F = 0.1039

| kgha | coef. | Std. Err. | t | P> t | [95% Conf. Interval] | |
|--------------|-----------|-----------------------------------|-------|-------|----------------------|----------|
| preflo_pp | -1.075135 | .6622887 | -1.62 | 0.107 | -2.387248 | .2369782 |
| llenap_pp | .182092 | .1340508 | 1.36 | 0.177 | -.0834868 | .4476708 |
| mad_pp | .2632457 | 2.131624 | 0.12 | 0.902 | -3.959886 | 4.486378 |
| kgha_fert | .3840228 | .1885204 | 2.04 | 0.044 | .0105299 | .7575157 |
| jorrsomb_ha | -2.929509 | 7.464889 | -0.39 | 0.695 | -17.7188 | 11.85978 |
| jorpodasa_ha | 8.592766 | 11.84302 | 0.73 | 0.470 | -14.87039 | 32.05592 |
| _cons | 229.6858 | 274.5857 | 0.84 | 0.405 | -314.3181 | 773.6897 |
| sigma_u | 208.91319 | | | | | |
| sigma_e | 245.68686 | | | | | |
| rho | .41963351 | (fraction of variance due to u_i) | | | | |

F test that all u_i=0: F(68, 113) = 1.41 Prob > F = 0.0545

Anexo 29. Análisis econométrico de regresión múltiple de la productividad en función de la precipitación anual a nivel de productores (2003-2009)

```
. xtreg kgha ppanual,fe
```

Fixed-effects (within) regression
 Group variable: prodnum
 Number of obs = 239
 Number of groups = 68
 R-sq: within = 0.0260
 between = 0.0127
 overall = 0.0176
 obs per group: min = 1
 avg = 3.5
 max = 7
 corr(u_i, xb) = 0.0130
 F(1,170) = 4.54
 Prob > F = 0.0345

| kgha | coef. | Std. Err. | t | P> t | [95% Conf. Interval] | |
|---------|-----------|-----------------------------------|------|-------|----------------------|----------|
| ppanual | .1023265 | .0480087 | 2.13 | 0.034 | .0075565 | .1970965 |
| _cons | 362.198 | 72.34724 | 5.01 | 0.000 | 219.3833 | 505.0127 |
| sigma_u | 207.71057 | | | | | |
| sigma_e | 231.8633 | | | | | |
| rho | .4452196 | (fraction of variance due to u_i) | | | | |

F test that all u_i=0: F(67, 170) = 2.25 Prob > F = 0.0000

Anexo 30 Análisis econométrico de regresión múltiple de la productividad en función de la precipitación registrada en las etapas fenológicas del cultivo a nivel de productores (2003-2009)

```
. xtreg kgha preflo_pp llenap_pp mad_pp,fe
```

Fixed-effects (within) regression
 Group variable: prodnum
 Number of obs = 239
 Number of groups = 68
 R-sq: within = 0.0694
 between = 0.0212
 overall = 0.0256
 obs per group: min = 1
 avg = 3.5
 max = 7
 corr(u_i, xb) = -0.0570
 F(3,168) = 4.18
 Prob > F = 0.0070

| kgha | Coef. | Std. Err. | t | P> t | [95% Conf. Interval] | |
|-----------|-----------|-----------------------------------|-------|-------|----------------------|----------|
| preflo_pp | -.7111572 | .5637387 | -1.26 | 0.209 | -1.824082 | .4017674 |
| llenap_pp | .1826861 | .072286 | 2.53 | 0.012 | .03998 | .3253921 |
| mad_pp | 1.130443 | 1.437344 | 0.79 | 0.433 | -1.707141 | 3.968028 |
| _cons | 267.7615 | 147.265 | 1.82 | 0.071 | -22.96691 | 558.49 |
| sigma_u | 212.8708 | | | | | |
| sigma_e | 227.9831 | | | | | |
| rho | .46576062 | (fraction of variance due to u_i) | | | | |

F test that all u_i=0: F(67, 168) = 2.39 Prob > F = 0.0000