



Instituto Privado de Investigación
sobre Cambio Climático



Prácticas de adaptación del maíz y frijol a la variabilidad y cambio climático en Guatemala

Guatemala, 2024

Prácticas de adaptación del maíz y frijol a la
variabilidad y cambio climático en Guatemala
Instituto Privado de Investigación Sobre Cambio Climático –ICC–

Créditos

Elaborado por: MSc. Elmer Orrego, MSc. Marie Andrée Liere y PhD. Alex Guerra
Instituto privado de investigación sobre Cambio Climático – ICC
Guatemala, 2024.

Cita bibliográfica

ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático). 2024. Prácticas de adaptación del maíz y frijol a la variabilidad y cambio climático en Guatemala. Orrego, E.; Liere, M.; Guerra, A. Guatemala 63 p.

ISBN: 978-9929-8343-4-7

Resumen ejecutivo

El maíz y el frijol son cultivos esenciales y ampliamente extendidos en Guatemala. Su importancia radica no sólo en su valor nutricional y que son la base de la alimentación de la población, sino también en que son símbolos valiosos y arraigados a la cultura desde tiempos ancestrales. Por lo anterior, son cultivos estratégicos para la seguridad alimentaria y nutricional, la cual presenta desafíos grandes puesto que una proporción importante de la población carece de la misma.

Guatemala es de las naciones con vulnerabilidad más alta a la variabilidad y cambio climático, debido a su ubicación geográfica y a las condiciones de su población. Por su diversidad de microclimas, cada región experimenta diferentes amenazas climáticas tales como las lluvias fuertes, sequías, vientos fuertes, heladas, granizo, aumento de la temperatura y el cambio en el inicio de la época lluviosa. A pesar de este riesgo latente, la población de Guatemala (y de otros países en vías de desarrollo) no son víctimas pasivas. Por el contrario, en el pasado han demostrado cierta resiliencia a las sequías, inundaciones y otros fenómenos adversos.

Ante los retos presentes derivados de la variabilidad climática y a los que puedan suscitarse en el futuro por el cambio climático, los agricultores deben crear estrategias y adoptar prácticas para proteger sus cultivos y disminuir el impacto que puedan sufrir. En este sentido, existe una serie de prácticas que han sido creadas o identificadas, algunas desde tiempos remotos, otras modernas, que pueden tomarse en consideración según las amenazas y condiciones de cada localidad.

Existen diversas medidas y prácticas de adaptación para las amenazas climáticas principales. Las prácticas de adaptación que se recomiendan para sequía son: uso de materiales tolerantes, no quema e incorporación de residuos de cosecha al suelo, época de siembra (atrasar o adelantar la siembra), cosecha y almacenamiento de agua, uso de la diversidad genética local, uso de poliacrilato de potasio (lluvia sólida), labranza mínima, labranza nocturna, asocio de cultivos o policultivos, conservación de suelos para la erosión hídrica y los sistemas agroforestales. En el caso de las lluvias fuertes, las prácticas que se recomiendan son: drenaje del terreno, monitoreo de datos pluviométricos, sistema de alerta temprana, uso de camellones para la siembra, conservación de suelos, ajuste de la época de siembra, cosecha y almacenamiento de agua. Las prácticas de adaptación en el caso de los vientos fuertes incluyen: aporque, cortinas rompevientos, uso de la diversidad genética local resistente, época de siembra, conservación de bosques cercanos y los sistemas agroforestales. Por otra parte, para adaptarse al aumento de la temperatura se recomiendan los sistemas agroforestales, materiales genéticos adaptados, adecuación de la época de siembra y asocio de cultivos. Finalmente, entre las prácticas de adaptación recomendadas para la amenaza de heladas están: adecuación de la época de siembra, selección de plantas resistentes, la cobertura con árboles, la buena nutrición de las plantas, el no laboreo del suelo y el riego.

El manejo postcosecha es clave. En diversos lugares hay amenazas climáticas para los granos básicos luego de ser cosechados. Éstas deben ser analizadas para tomar acciones que eviten daños y pérdidas. Las estrategias para que los cultivos de maíz y frijol sean resilientes al clima, tanto en el presente como en el futuro, no deben considerar solamente los períodos de crisis sino todo el rango de años, desde los más favorables, hasta los más críticos. Los años en que se logren cosechas exitosas pueden hacer posible invertir en prácticas que ayuden a minimizar los impactos en años difíciles.

Las prácticas de adaptación antes mencionadas y en las cuales se enfoca este documento son prácticas de tipo técnico y se pueden aplicar a escala de parcela o finca. Sin embargo, también existen medidas que podrían tomar diferentes instancias a otras escalas tales como cooperativas, asociaciones de productores, municipalidades, agencias de cooperación y gobierno central para disminuir los impactos del clima sobre los cultivos. Tales medidas pueden ser de tipo institucional y financiero y pueden abordar desde la etapa de prevención hasta la etapa de atención de damnificados.

Índice general

No.	Contenido	Página
1	Prácticas de adaptación del maíz y frijol a la variabilidad y cambio climático.....	1
1.1	La adaptación al cambio climático: consideraciones conceptuales	2
1.2	Amenazas climáticas en Guatemala	6
1.3	Prácticas de adaptación a las sequías (canículas prolongadas)	7
1.3.1	Uso de materiales tolerantes	9
1.3.2	Riego	9
1.3.3	No quema e incorporación de residuos de cosecha al suelo	10
1.3.4	Época de siembra (atrasar o adelantar la siembra)	11
1.3.5	Cosecha y almacenamiento de agua	12
1.3.6	Uso de la diversidad genética local.....	13
1.3.7	Poliacrilato de potasio.....	13
1.3.8	Labranza mínima	15
1.3.9	Labranza nocturna.....	17
1.3.10	Asocio de cultivos o policultivos	17
1.3.11	Conservación de bosques	18
1.3.12	Conservación de suelos para prevención de erosión hídrica.....	19
1.3.13	Protección de los recursos hídricos.....	20
1.3.14	Descontaminación y uso racional del agua	21
1.3.15	Sistemas agroforestales.....	21
1.4	Vientos fuertes.....	26
1.4.1	Principales efectos del viento sobre las plantas:.....	26
1.4.2	Aporque.....	27
1.4.3	Cortinas rompevientos.....	27
1.4.4	Uso de la diversidad genética local.....	29
1.4.5	Época de siembra.....	30
1.4.6	Conservación del bosque	30
1.4.7	Sistemas agroforestales	30
1.5	Lluvias fuertes (inundaciones)	30

1.5.1	Drenajes	31
1.5.2	Monitoreo de datos pluviométricos	31
1.5.3	Sistema de alerta temprana	31
1.5.4	Gestión de riesgo	32
1.5.5	El manejo integrado de cuencas como estrategia de gestión territorial para la adaptación al cambio climático	32
1.5.6	Uso de camellones para la siembra.....	35
1.5.7	Conservación de suelos	35
1.5.8	Época de siembra.....	35
1.5.9	Cosecha y almacenamiento de agua.....	36
1.6	Aumento de la temperatura	37
1.6.1	Sistemas agroforestales	37
1.6.2	Materiales genéticos adaptados	37
1.6.3	Gestión de riesgos y época de siembra.....	38
1.6.4	Asocio de cultivos.....	38
1.7	Heladas	39
1.7.1	Gestión de riesgos y época de siembra.....	40
1.7.2	Manejo del drenaje de aire frío (protección pasiva)	40
1.7.3	Selección de plantas (protección pasiva).....	41
1.7.4	La cobertura con árboles (protección pasiva)	41
1.7.5	La nutrición de las plantas (protección pasiva)	41
1.7.6	Evitar el laboreo del suelo (protección pasiva).....	41
1.7.7	Riego (protección pasiva).....	41
1.7.8	Las coberturas de los suelos	42
1.7.9	Otros métodos.....	42
1.7.10	Acerca de los Sistemas Agroforestales	42
2	Costos de implementación de prácticas de adaptación.....	42
2.1	No quema e incorporación de residuos.....	44
2.2	Sistemas agroforestales	45
2.3	Cosecha y almacenamiento de agua de lluvia	47
2.4	Silos de agua/luvia sólida (poliacrilato de potasio)	48
2.5	Terrazas/acequias	48
2.6	Surcos en contra de la pendiente (surqueado)	49
2.7	Labranza mínima.....	50

2.8	Labranza nocturna.....	51
2.9	Asocio de cultivos (maíz-frijol)	51
2.10	Uso de materiales tolerantes a sequía	52
2.11	Drenajes.....	52
2.12	Monitoreo de la precipitación.....	52
2.13	Uso de camellones.....	53
2.14	Aporque	53
2.15	Cortinas rompevientos	53
2.16	Manejo post-cosecha	54
3	Bibliografía.....	56

Índice de cuadros

No.	Contenido	Página
Cuadro 1.	Eficiencias de los sistemas de riego y su demanda de agua	10
Cuadro 2.	Rendimiento del maíz en parcelas de 10x10 m con y sin prácticas de quema	10
Cuadro 3.	Dosificación de la lluvia sólida.	15
Cuadro 4.	Rendimiento de los principales cultivo y frutales bajo el sistema agroforestal Quesungual en El Salvador	24
Cuadro 5.	Requerimiento de mano de obra y costos para el establecimiento y mantenimiento del sistema agroforestal Quesungual.....	25
Cuadro 6.	Análisis de las acciones de adaptación bajo el enfoque del MIC frente a impactos del cambio climático proyectados	34
Cuadro 7.	Calendario anual de amenazas climáticas que afectan en un ciclo del maíz...	36
Cuadro 8.	Métodos de protección pasivos contra heladas.	39
Cuadro 9.	Métodos de protección activos contra heladas.	40
Cuadro 10.	Costos de las prácticas de adaptación priorizadas.	43
Cuadro 11.	Costos para la implementación de la no quema e incorporación de rastrojo.	45
Cuadro 12.	Costos para la implementación de sistemas agroforestales	46
Cuadro 13.	Costos para la implementación de cosecha y almacenamiento de agua	47
Cuadro 14.	Costos para la implementación de lluvia sólida	48
Cuadro 15.	Costos para la implementación de terrazas o acequias en el altiplano.	49
Cuadro 16.	Costos para la implementación de surcos en contra de la pendiente.	50
Cuadro 17.	Costos para la implementación de labranza mínima	50
Cuadro 18.	Costos para la implementación del asocio de cultivos entre maíz y frijol	51
Cuadro 19.	Costos para la implementación del uso de materiales tolerantes a sequía....	52
Cuadro 20.	Costos para la implementación de drenajes	52
Cuadro 21.	Costos para implementación del monitoreo de la precipitación	52
Cuadro 22.	Costos para la implementación de camellones.....	53
Cuadro 23.	Costos para la implementación del aporque.....	53
Cuadro 24.	Costos para la implementación de cortinas rompevientos.	54
Cuadro 25.	Costos para la implementación del manejo post cosecha del cultivo.....	54

Índice de figuras

No.	Contenido	Página
Figura 1.	Sistema de mínima labranza en el cultivo de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i>).....	16
Figura 2.	Escorrentía en función de la reducción de la cobertura del bosque	19
Figura 3.	Comportamiento del viento en una cortina rompevientos.....	28
Figura 4.	Esquema orientador del grado de atenuación.....	29
Figura 5.	Cosecha y almacenamiento de agua en el hogar.....	37
Figura 6.	Maíz en surcos dobles.....	38
Figura 7.	Costos por establecimiento de prácticas por un ciclo de maíz	44
Figura 8.	Rastrojo restante de la cosecha anterior.....	45
Figura 9.	Sistema agroforestal Kuxurúm en Oriente.....	46
Figura 10.	Captación de agua de lluvia con plástico.	47
Figura 11.	Surcos de parcela (previo a ser sembrada) con lluvia sólida.....	48
Figura 12.	Construcción de terrazas en Nahualá, Sololá.	49
Figura 13.	Surcos en contra de la pendiente en área de Nahualá.....	50
Figura 14.	Asocio de maíz y frijol, parcela en Ipala, Chiquimula.	51
Figura 15.	Caseta mejorada para el secado de maíz.....	55

1 INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la Tierra, se han registrado cambios en el clima global. Asimismo, en todo lugar se presenta de forma natural cierta variabilidad en las condiciones meteorológicas a escalas temporales de horas, días, meses, años y décadas. Sin embargo, las actividades humanas y sus emisiones de gases de efecto invernadero, que han incrementado desde la era industrial, han causado aumentos en la temperatura global y cambios en otras variables del clima de forma acelerada y adicional a la variabilidad natural (IPCC, 2007). El ritmo al que están ocurriendo dichos cambios representa impactos para los sistemas naturales y humanos, por lo que se ha convertido en un tema prioritario a escala global en las últimas décadas.

Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) provienen en mayor proporción de los países desarrollados y potencias emergentes como China e India, y en mínimas proporciones de los llamados países en vías del desarrollo. No obstante, los impactos derivados de los cambios en el clima normalmente son de mayores proporciones para este último grupo de países, lo cual es una paradoja. Adicionalmente, se ha estimado que, aunque las emisiones globales de los GEI se bajaran a cero, el clima seguirá cambiando a causa de las emisiones de las últimas décadas (IPCC, 2007). Ante esta creciente amenaza y la falta de soluciones a corto y mediano plazo, lo que se torna obligatorio y urgente es adaptarse a la nueva realidad climática. La adaptación implica tomar medidas para moderar los efectos negativos que el cambio climático pueda tener sobre la población, aunque también invita a aprovechar los beneficios que puedan resultar (IPCC, 2007).

Guatemala se encuentra entre los países más vulnerables frente al cambio climático debido a su ubicación geográfica y a sus condiciones sociales, por lo que es inminente la adaptación. Para poder adoptar medidas adecuadas de adaptación, las comunidades deben conocer las amenazas climáticas a las que están expuestas y saber sus debilidades ante la ocurrencia de las mismas para poder estar en la capacidad de administrar y gestionar los riesgos que existen en su entorno. Partiendo de esta realidad, el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC) busca contribuir a aumentar la resiliencia de productores de maíz y frijol a través de estudiar y promover prácticas de adaptación al cambio climático. Este documento es el resultado de la información recopilada en talleres dentro del proyecto ejecutado por el ICC entre 2012 y 2013 con financiamiento

del programa denominado Desarrollo Resiliente al Cambio Climático (CCRD, por sus siglas en inglés -ver anexos), de cuatro diagnósticos comunitarios, dos en comunidades de las tierras bajas del sur de Guatemala (la Nueva Concepción, Escuintla, y La Máquina, Suchitepéquez y Retalhuleu) y dos en el altiplano (Parramos, Chimaltenango y Nahualá, Sololá) y de más de 100 documentos consultados que contienen prácticas agrícolas de adaptación al cambio climático. Con base en esta investigación y en el trabajo de campo efectuado, se creó este documento donde se proponen prácticas de adaptación recomendadas para cada amenaza climática. Además, se presenta un cuadro para comparar los costos de implementación de cada método y así decidir cuál es el que traerá un mayor beneficio.

Las medidas de adaptación deben ser implementadas para disminuir las vulnerabilidades que se presentan. Este proceso es de carácter local, ya que el entorno biofísico de cada comunidad es único y por lo tanto las medidas de adaptación serán específicas para cada comunidad. Algunas prácticas presentadas deben ser ejecutadas a nivel institucional, y otras pueden ser ejecutadas por los agricultores, ya sean de subsistencia o de producción comercial, para poder adaptarse. El instituto espera contribuir a que se extiendan las prácticas de adaptación y así, se moderen los efectos de la variabilidad y cambio climático sobre los cultivos de maíz y frijol.

2 Prácticas de adaptación del maíz y frijol a la variabilidad y cambio climático

2.1 La adaptación al cambio climático: consideraciones conceptuales

La aplicación del término adaptación se ha entendido como el proceso de establecer arreglos en el comportamiento y características de un sistema que aumentan su habilidad para soportar estreses externos (Brooks, 2003). En el contexto del cambio climático, adaptación se ha definido como la implementación de ajustes en los sistemas ecológicos, sociales, o económicos en respuesta a cambios esperados u observados en el clima y sus efectos para aliviar el impacto adverso de dichos cambios, o bien para aprovechar nuevas oportunidades (IPCC, 2007; Adger et al., 2005).

A finales del siglo XX, el tema de la adaptación fue marginado por temor a que enfocarse en él implicara reducir la atención sobre la mitigación del cambio climático (Pielke et al., 2007). Sin embargo, la adaptación ha recobrado importancia y se ha planteado como alternativa o estrategia complementaria a la mitigación (Pielke et al., 2007; Smith et al.,

2000). Uno de los resultados es que se han invertido significativamente más fondos en mitigación que en adaptación (US\$350 millardos comparado con US\$14 millardos), según estimaciones de la Iniciativa de Políticas Climáticas (CPI, 2012). Además, este rezago en la adaptación al cambio climático no se refleja solamente en las negociaciones internacionales, sino también en la teoría, métodos y mecanismos para guiar las acciones a nivel nacional y local. No obstante, se está aumentando la atención al tema en todos los niveles, lo cual permitirá indudablemente avanzar.

Las distintas definiciones de adaptación difieren principalmente en la aplicación y contexto. Algunas se refieren al cambio climático mientras otros se enfocan en la variabilidad climática. Hay variaciones que corresponden a diferentes sectores sociales y económicos, a sistemas ecológicos sin o bajo manejo, o bien, prácticas, procesos o estructuras de sistemas. Los impactos de los cambios en el clima son diferentes de acuerdo con dichos sectores o sistemas. Por ejemplo, los aumentos en ondas de calor tienen un efecto grave en la población de la tercera edad; por esto las medidas de adaptación deben enfocarse en ese sector de la sociedad. La temporalidad de la implementación de medidas de adaptación también incide en los enfoques que pueden emplearse; es así como puede hablarse de adaptación preventiva y adaptación reactiva. Aunque normalmente se asume que las medidas de adaptación son o deben ser preventivas, en la realidad es común que se tomen medidas de forma reactiva (Smith et al., 2000). Otro factor para considerar es el nivel de participación del país o sector que debe adaptarse y la asistencia que reciba de otros actores, por ello, la adaptación puede ser pasiva o activa.

Las iniciativas globales en cuanto a la adaptación al cambio climático se centralizan en la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Esta es el tratado internacional que abarca los distintos temas relacionados al cambio climático y resalta que la adaptación exitosa no depende solamente de los gobiernos sino también de la participación sostenida de diferentes actores tales como organizaciones multilaterales e internacionales, el sector público y privado y la sociedad civil (UNFCCC, 2013). Dentro de la Convención Marco, están trabajando a través de varias plataformas: el Marco de Adaptación de Cancún, el Programa de Trabajo de Nairobi, los Planes Nacionales de Adaptación (NAP, por sus siglas en inglés) y los Programas de Acción Nacionales de Adaptación (NAPA, por sus siglas en inglés). Se debe notar que dichas iniciativas son relativamente recientes, pues los NAPAs se crearon en 2001.

Muchas sociedades, instituciones e individuos han cambiado su comportamiento en respuesta a cambios en el clima que se han dado en el pasado y otras están contemplando adaptarse a las alteraciones climáticas futuro. Parte de esta adaptación es reactiva puesto que responde a eventos pasados o actuales y al mismo tiempo preventiva porque se basa en las evaluaciones de las condiciones futuras. La adaptación se compone de acciones tomadas por distintos individuos, grupos y gobiernos (Smit & Skinner, 2002).

Hay autores como Adger et al. (2003) que consideran que la gente de países en vías de desarrollo no son víctimas pasivas; por el contrario, en el pasado han demostrado la resiliencia más fuerte a sequías, inundaciones y otras catástrofes. De esto deriva que las opciones de adaptación no necesariamente deben ser nuevas a un lugar. De forma análoga se pueden considerar estudios de caso de respuestas pasadas a variabilidad y extremos climáticos llamadas analogías temporales. También se puede investigar el comportamiento presente en regiones con condiciones climáticas similares a las que se puedan desarrollar en la región de interés, llamadas analogías espaciales (Adger et al., 2003). Mucha de la adaptación en países en vías de desarrollo va a depender de experiencias pasadas, de cómo se han afrontado los riesgos relacionados al clima. Así, gran parte de la adaptación de los agricultores, pescadores, habitantes de las costas y residentes de grandes metrópolis será autónoma y facilitada por sus propios recursos y capital social (Adger et al., 2003).

Existen diversos enfoques y tipos de medidas de adaptación. Smith et al. (2002), señalan entre las características distintivas de las medidas de adaptación: propósito, duración, temporalidad, escala, responsabilidad y forma. Entre los propósitos de la adaptación están la protección del bienestar económico y el mejoramiento de la seguridad, tanto de individuos como de comunidades (Adger et al., 2005). Smith & Skinner (2002) argumentan, según su definición de adaptación, que debe haber ajustes en el sistema en cuestión (Ej. un sistema agrícola). De acuerdo con estos, definen las siguientes categorías de medidas de adaptación, que no son mutuamente excluyentes: 1) desarrollos tecnológicos, 2) programas de gobierno y seguros, 3) prácticas de producción en fincas y 4) manejo financiero de las fincas. Algunas medidas de adaptación pueden ser puramente tecnológicas, como la adopción de técnicas de almacenamiento de agua y de riego, que se recomendarían para minimizar los impactos de la escasez de agua sobre ciertos cultivos. Otras medidas de adaptación pueden tener un carácter institucional, como la creación de entidades gubernamentales u organizaciones de productores, cuya labor contribuya a disminuir los impactos de los cambios en el clima. Los seguros, según los autores anteriores, caben en

la segunda categoría, si se trata de un programa de mediana o gran escala, mientras que corresponden en la categoría 4 si es una medida adoptada por un productor en su sistema productivo.

Hay medidas de adaptación que están relacionadas a cambios en comportamiento. Por ejemplo, si la seguridad alimentaria en un lugar se ve amenazada por el cambio climático debido a que se basa fundamentalmente en dos cultivos vulnerables, una posible medida de adaptación podría ser cambiar la dieta de la gente. Esto se hace haciendo que la dieta esté basada en una variedad mayor de cultivos o en aquellos que son menos vulnerables al cambio climático. Este tipo de medida es mencionado y recomendado por algunos profesionales guatemaltecos que trabajan en la materia, como se observó en las consultas realizadas por el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC) durante un estudio elaborado para USAID/Guatemala (ICC, GCAP y Grupo Laera, 2013).

En algunos casos, se identifican como medidas de adaptación algunas acciones que implican hacer de forma planificada, efectiva y eficiente, las tareas que ya se realizaban dentro de un sistema productivo. Baethgen (2013) argumenta que se debe tomar en cuenta todo el rango de condiciones climáticas, que en unos años propician rendimientos excelentes, en otros causan dificultades y en una minoría, pueden terminar en crisis para un sistema productivo. También explica que al aprovechar los años favorables al máximo también se puede invertir en medidas que ayuden a evitar crisis y disminuir las pérdidas en años difíciles.

En los análisis de medidas potenciales de adaptación que se realizan (cada vez con mayor frecuencia) salen a relucir algunas acciones que más que ser medidas de adaptación, proveen condiciones para reducir el impacto del cambio climático. Disminuir la deforestación es un ejemplo de estas acciones identificadas. Sin embargo, la deforestación tiene múltiples causas relacionadas de forma más estrecha a procesos sociales y económicos, que al clima. En cuestión de adaptación, abordar la deforestación es un componente clave porque puede conllevar a ecosistemas más resilientes, reduciendo la pérdida de especies y aportando bienes y servicios ambientales para la población. Asimismo, la protección de las áreas boscosas y el trabajo en la conservación reduce la emisión de gases de efecto invernadero, lo cual vincula a la adaptación con la mitigación. Para disminuir la deforestación se requieren distintas acciones tales como 1) la promoción del uso sostenible de los bosques, 2) el fortalecimiento de las autoridades que están a cargo

de los bosques, 3) la diseminación del manejo adecuado del fuego y 4) el ordenamiento territorial (ICC, GCAP & Grupo Laera, 2013). Estas medidas, no obstante, parecieran no ser medidas directas de adaptación al cambio climático, pero sí están relacionadas a la reducción de la vulnerabilidad actual, al aumento de la resiliencia (tanto en el nivel del bosque como para las instituciones) e incrementar la capacidad de responder a los cambios ambientales, incluyendo el cambio climático.

Lo anterior ilustra por qué las medidas de adaptación no deberían concebirse separadas de la formulación o planificación de proyectos, sino que deberían de ser incluidas en ellas. También refuerza el argumento de que las medidas de adaptación deben incorporarse a los planes de desarrollo y planes operativos (en el caso de sistemas productivos), y no deben ser vistas dentro del aspecto ambiental de los mismos. En síntesis, cuando se habla del proceso de adaptación al cambio climático, se debe pensar en el amplio rango de acciones y condiciones que contribuyan a la disminución de los impactos causados directa o indirectamente por el clima, o bien, a aprovechar los beneficios potenciales que el mismo conlleve en algunos lugares.

2.2 Amenazas climáticas en Guatemala

Una amenaza se refiere al fenómeno natural o agente de la naturaleza que aparece en un tiempo y espacio determinados y que tiene la capacidad de ocasionar daños y pérdidas a la población humana (García, 2000). Existen amenazas de primer orden y de segundo orden. Las amenazas de primer orden son aquellas que causan impactos directos sobre la población o sus medios de vida. Entre estas están: lluvias fuertes, sequías, vientos fuertes, heladas, granizo, aumento de la temperatura y el cambio en el inicio de la época lluviosa.

Las amenazas de segundo orden son aquellas que se derivan de las primeras y muchas veces estas causan un mayor impacto en la infraestructura, en la economía, en los cultivos agrícolas/pecuarios y en la pérdida de vidas humanas entre otros. Entre estas amenazas están los deslizamientos de tierra (detonados por lluvias), las inundaciones, el azolvamiento de ríos, el aumento del nivel del mar, la extinción de especies vegetales endémicas, la disminución en la disponibilidad de agua para riego y consumo y la intrusión salina.

Guatemala cuenta con todos los tipos de amenazas naturales, a excepción de aquellas ocasionadas por el hielo y la nieve, incluyendo las volcánicas, sísmicas y, por supuesto, las amenazas climáticas. Debido a la heterogeneidad de condiciones climáticas, geológicas y

la topografía accidentada del territorio, las amenazas varían de lugar en lugar. Hay pocos sitios que no se vean afectados por alguna amenaza climática y la mayoría de los lugares están expuestos a más de una. La frecuencia e intensidad también varían, pero en algunos lugares éstas ocurren anualmente bajo condiciones normales. Los eventos más fuertes y que afectan a una parte significativa del país, normalmente a causa de depresiones, tormentas o huracanes, tienen una frecuencia de varios años. De hecho, entre 1998 y 2020 (veinte dos años) se tuvieron seis eventos catastróficos (huracán Mitch, tormenta Stan, tormenta Ágatha, depresión 12-E, huracán Eta y huracán Iota) y otros eventos menores que ocasionaron daños y pérdidas grandes (ICC, GCAP y Grupo LAERA, 2012).

2.3 Prácticas de adaptación a las sequías (canículas prolongadas)

De los factores de estrés que afectan el desarrollo y rendimiento del maíz, la disponibilidad del agua es por mucho, el más importante. Como una planta tipo C4, el maíz es intrínsecamente más eficiente en el uso hídrico, y transpira sólo la mitad que las del tipo C3 como arroz, soya y algodón (Taiz, 1991). Sin embargo, a pesar de esta ventaja clave, la limitación hídrica afecta adversamente el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento del maíz durante las etapas reproductivas. En general, la limitación de agua provoca en las plantas una caída en la presión de turgencia y el cierre estomático para reducir la pérdida de agua en el tejido. Un decremento en el potencial hídrico interno produce hojas enrolladas, lo que reduce la superficie expuesta, disminuyendo la fotosíntesis y finalmente el crecimiento. Visualmente, la limitación hídrica se manifiesta como una reducción en la altura y rendimiento en biomasa. En las etapas reproductivas subsiguientes, una limitación en la disponibilidad de agua resulta en la quemadura y arrugamiento de las hojas (Hsiao, 1973; Westgate et al., 2004).

Las etapas de desarrollo a floración son períodos particularmente vulnerables para el crecimiento y el rendimiento final de la planta de maíz. Con cuatro días de marchitez visible en las etapas previas a VT (antes de la antesis), el rendimiento puede reducirse hasta en un 25%, mientras que la marchitez durante cuatro días entre las etapas finales V y R2, puede producir hasta un 50% de baja en rendimiento (McWilliams, 2002). Un mecanismo importante por el que la sequía reduce el rendimiento es porque impide la floración sincrónica. Los rendimientos óptimos dependen de que la maduración de estigmas femeninos (*silking*, R1) ocurra a unos días de la emergencia de la espiga masculina

(antes de la floración); la sincronía se considera como una medida del intervalo entre ambos tipos de floración (ASI, por *anthesis-silking interval*).

Si el ASI se incrementa, los estigmas emergen muy tarde para capturar el polen liberado, y los rendimientos caen dramáticamente. Ya que estos estigmas (“pelos de elote”, largos, húmedos y pegajosos), dependen de un suministro suficiente de agua para brotar en el momento correcto, la limitación en la disponibilidad de agua es una causa de valores más altos de ASI (Westgate et al., 2004). Los estigmas son más sensibles a los potenciales hídricos bajos que las hojas o las raíces, ya que valores pequeños de este parámetro, se asocian con una baja retención de solutos y la incapacidad de mantener la turgencia (Maiti and Wesche-Ebeling, 1998). No obstante, la dificultad para captar polen no es la única causa de un número pobre de granos; bajo condiciones de limitación de agua, el abortar los granos ya fertilizados puede ser un factor significativo de la pérdida en rendimiento (Westgate et al., 2004). El estrés hídrico durante las etapas vegetativas y la floración, reducen el número de granos e incrementan la cantidad de plantas sin mazorcas. Durante el llenado del grano en la mazorca, esta condición genera granos chicos (Campos et al., 2006); si la humedad de estos cae por debajo del 30%, entonces no acumulan materia seca.

Los fitomejoradores han buscado mejoras y a lo largo de décadas han logrado diversos avances hacia la tolerancia a la sequía en maíz. Los programas de cruzamiento y selección bajo condiciones de limitación hídrica han generado germoplasma mejorado que es capaz de producir buenos rendimientos, comparados con híbridos convencionales susceptibles. La estrategia principal para este tipo de fitomejoramiento ha sido la selección hacia la floración sincrónica. Los investigadores promueven este proceso por medio de la autopolinización de plantas bajo sequía; aquellas plantas que maduren sus estigmas al tiempo de la liberación del polen pueden cruzarse consigo mismas, lo que permite la selección de plantas que son capaces de mantener esta función, la sincronía en floración, bajo condiciones de estrés hídrico.

En un estudio retrospectivo sobre los avances respecto de la tolerancia a sequía en los últimos 50 años, se encontró que las mayores ganancias en rendimiento de grano obtenidas bajo estrés hídrico en floración fueron apenas superiores a 0.1 Tom/Ha/año; los rendimientos bajo condiciones óptimas también mejoraron, aunque se incrementó la susceptibilidad a estrés durante etapas intermedias o finales del llenado de grano (Campos et al., 2006). En relación con la evaluación de riesgo ambiental, las mejoras resultantes en

el desarrollo de híbridos de maíz con mayor tolerancia a sequía no alteraron la invasividad, ni la toxicidad basal de maíz. Por tanto, el fitomejoramiento hacia tolerancia a sequía como tal, utilizando técnicas tradicionales, no ha resultado en efectos adversos al medio ambiente.

La desertificación y sequía son procesos naturales que causan impactos negativos a la población rural, especialmente a quienes dependen de la agricultura para sobrevivir. Estos problemas van en aumento debido a los efectos del Cambio Climático, afectando económica y socialmente, y de forma directa o indirectamente a los pobladores, perjudicando su salud y seguridad alimentaria.

A continuación, se presentan las prácticas para contrarrestar la amenaza de sequías:

2.3.1 Uso de materiales tolerantes

El uso de materiales genéticos mejorados que toleren las sequías ayuda a reducir el impacto de dicha amenaza, puesto que estos han sido modificados para soportar un mayor estrés hídrico.

Actualmente en Guatemala existen materiales que son reportados como tolerantes a sequías, estos son:

- ICTA B-7 (variedad) – distribuido por ICTA
- Pioneer 8042 (híbrido) – distribuido por Duwest
- DK 390 (híbrido) – distribuido por Dekalb
- HR 245 (híbrido) – distribuido por Prosemillas
- HRQ 596 (híbrido) – distribuido por Prosemillas

Con el uso de estos materiales se puede reducir el impacto de las sequías, aunque exactamente cuánto reduce cada uno, no hay reportes de investigaciones disponibles.

2.3.2 Riego

Los diferentes sistemas de riego permiten ahorrar agua mediante el uso y aprovechamiento eficiente de ésta, en especial el sistema de riego por goteo, esto se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Eficiencias de los sistemas de riego y su demanda de agua

<i>Método de Riego</i>	<i>Eficiencia (%)</i>	<i>Demanda de agua (lps/ha)</i>
Superficie	20 – 60	2 - 4
Aspersión	60 - 70	1 – 1.2
Micro aspersión	80 - 85	0.7 – 0.8
Goteo	85 - 90	0.5 – 0.7

Fuente: FAO, 2013.

La selección de método del riego está en función de qué tanto se quiera y se pueda invertir, así como de la disponibilidad del agua. Si se cuenta con suficiente recurso económico, pero no se cuenta con suficiente agua para cubrir el riego es necesario aprovechar al máximo el recurso. En este caso el sistema de riego es el que mejor se adaptará a las necesidades. Con el uso de riego se puede reducir el 100% del impacto de una sequía o una helada, dependiendo del cultivo y del tipo de sistema de riego. Si se utiliza un sistema de riego se recomienda aprovecharlo al máximo, mediante la siembra durante todo el año.

2.3.3 No quema e incorporación de residuos de cosecha al suelo

El Programa de la Seguridad Alimentaria y Nutricional (2005) indica que la no quema es una práctica que consiste en desechar el uso del fuego en el terreno de cultivo. La no quema ayuda a mantener una cobertura sobre el suelo reduciendo así la evaporación del agua de este, además que incorpora nutrientes al suelo, materia orgánica, oxígeno y como resultado, la formación de nitratos en el suelo. En el cuadro 4 se muestra una evaluación que se realizó en Ghana utilizando la práctica de adaptación de no quema de rastrojo.

Cuadro 2. Rendimiento del maíz (kg) en parcelas de 10x10 m, con y sin prácticas de quema

Práctica	Cultivo	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Promedio
Sin quema	Maíz	27.00	23.00	26.00	24.00	25.00
Sin quema	Maíz	11.00	10.00	8.00	11.00	10.00
Con quema	Maíz	10.00	9.00	6.00	7.00	8.00
Con quema	Maíz	8.00	8.00	9.00	9.00	8.50

Fuente: Aalangdon, O. et. Al. (1998)

Según Aalangdon et. al. (1998), el número de años en que un área no es quemada también afecta el rendimiento de los cultivos, ya que en las parcelas donde no fue quemado el rendimiento aumento más del doble. Cuando el productor no quema implica que va a hacer un uso diferente del rastrojo; es decir, que los residuos que quedaron de la cosecha de los cultivos serán incorporados. Es una práctica que sirve para proteger el suelo y sus condiciones físicas. Cuando el productor no quema está dejando los residuos de la cosecha, los cuales al descomponerse se convierten en materia orgánica que mejora el terreno donde se cultiva.

La incorporación de rastrojo es una práctica que está unida a la “no quema”, dado que este material que no es quemado se puede incorporar al suelo para que se inicie la descomposición de materia orgánica. No se pueden incorporar solamente los rastrojos de la cosecha anterior, sino que también abonos verdes provenientes de árboles o de sistemas agroforestales. La manera de realizarse es colocando todo el rastrojo en el entresurco, para que al momento que finalice la cosecha y se quiera volver a sembrar, se utilice lo que se encuentra en el entresurco, que tiene incorporados los rastrojos. Para entonces ya en este estado, esto ya se ha convertido en materia orgánica. Así, se van rotando los surcos las veces necesarias.

Según PASOLAC (1999), en las áreas de ladera se dificulta la incorporación del rastrojo, para lo cual se recomienda la no quema y *mulching* en vez de arar e incorporar los rastrojos. La incorporación se practica solamente por uno o dos ciclos en campos con suelos muy compactados o en suelos muy degradados; así como para destruir las plagas y enfermedades que viven de los rastrojos y en el caso de una alta infestación con malezas agresivas en el campo. En lugares muy secos es recomendable utilizar mejor el *mulch* con el rastrojo para conservar la humedad, ya que si se incorpora al suelo se pierde por evaporación.

2.3.4 Época de siembra (atrasar o adelantar la siembra)

Es la mejor práctica para las amenazas climáticas que suceden en una época específica del año. Se pueden evitar los impactos durante un período donde no sucedan o donde las probabilidades de que sucedan sean reducidas. En el caso de la sequía, sembrar en la época lluviosa es la mejor opción, pero también es necesario tomar en cuenta la canícula de cada época lluviosa. De esa manera no impactará en la floración del cultivo de maíz. La floración es la etapa más crítica de cualquier cultivo y por lo general es cuando tiene la

mayor evapotranspiración (consumo de agua), por lo tanto, si ésta le llegara a faltar, el rendimiento de la planta disminuirá rápidamente.

Lo ideal es realizar un calendario para identificar las épocas donde suceden las diferentes amenazas climáticas y planificar la siembra donde menos puedan impactar. Esta es una manera de gestión del riesgo para minimizar los impactos que puedan ocurrir en cualquier cultivo. Para poder determinar cuál es la mejor época es necesario realizar investigación utilizando los materiales genéticos que se utilizan en la región para ver cuáles son los que se adaptan a diferentes épocas de siembra.

2.3.5 Cosecha y almacenamiento de agua

Se define como el proceso de recolección y almacenamiento de agua para su posterior uso, desde un área tratada para incrementar la escorrentía. Un sistema de cosecha de agua sería aquel que facilita la recolección y almacenaje de agua de escorrentía, que puede utilizarse para abastecimiento doméstico o para cultivos (Mongil y Martínez, 2007). En los últimos años se ha incrementado la divulgación de esta práctica e incluso su implementación, en algunas comunidades donde sufren serios problemas de sequías o falta de acceso al agua. Este método es accesible y fácil de implementar: desde la cosecha directa de agua hasta la condensación de neblina para almacenar este recurso. Generalmente se ha implementado en el corredor seco de Guatemala y en las partes altas de las cuencas hidrográficas.

La cantidad de agua que se debe cosechar, almacenar y distribuir a la zona donde se necesita está en función de la demanda. Existen diferentes métodos para realizarlo: desde toneles, hasta estructuras de almacenamiento construidas con materiales más costosos (concreto, hierro, plástico, etc.). Esto permite utilizar el agua cuando se presente una sequía o canícula, para aplicar un riego que disminuya el impacto.

El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN) a través de la Unidad de Desertificación y Sequía (UNIDSESEQ) trabajan en la construcción de Sistemas de Recolección de Aguas Pluviales, como una medida para mitigar la poca disponibilidad de agua de calidad en el área del Corredor Seco ampliado; es decir no solo la región Nororiente del país, sino además parte de Occidente que incluye Huehuetenango, Quiché y Quetzaltenango. Con ello se espera incrementar la seguridad alimentaria y nutricional del

área, reducir los impactos negativos del cambio climático y en general para el mejoramiento de las condiciones de vida de los pobladores que habitan la región.

2.3.6 Uso de la diversidad genética local

La diversidad genética de las especies es el material base que les permite responder rápidamente a los cambios que ocurren en el ambiente (Ceibal, 2013). Con ella se le da la importancia a la diversidad genética de cada sitio, generalmente para áreas como las del altiplano (Chimaltenango y Sololá), ya que en estos sitios es donde aún utilizan materiales criollos propios.

Dentro de las ventajas principales de utilizar maíz criollo para los agricultores es que se ahorran el gasto de la compra de semilla, además que utilizan semilla que ya está adaptada a todas las condiciones del lugar donde será sembrada. La diversidad del maíz es importante para la industria productora de semillas. La mayoría de los materiales mejorados e híbridos de maíz que se comercializan en el mercado, provienen de materiales nativos que están en poder de los agricultores. De acuerdo con el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el maíz criollo cuenta con mayores ventajas que el maíz híbrido o el mejorado puesto que es un cultivo rústico que requiere de bajo nivel de insumos como fertilizantes y pesticidas (Aguirre, 2010). Por lo tanto, el uso de material genético local es beneficioso y tiene mayor resistencia a condiciones climáticas adversas porque no ha sufrido un proceso de erosión genética, como la sufren los materiales mejorados. El maíz, por su gran diversidad biológica y genética, es considerado como un recurso natural importante y necesario para lograr la soberanía alimentaria (Aguirre, 2010).

2.3.7 Poliacrilato de potasio

La denominada “Lluvia Sólida”, creada por el químico mexicano Sergio Jesús Rico Velasco, es una alternativa al problema de la sequía. Dicha herramienta, ayudaría también a mejorar la eficiencia agrícola mediante sistemas de irrigación óptimos (Cámara Nacional del Maíz Industrializado, 2011). La lluvia sólida es creada con base en la fórmula de poli-acrilato de potasio, que es una sustancia que no daña el medio ambiente, que permite gelatinizar los líquidos y rehidratarlos repetidas veces durante su vida útil, que va de 8 a 10 años, y está altamente probada. Los granos de un polímero modificado atrapan el agua, que se concentra en pequeñas esferas en forma de gel sin tener esa consistencia pegajosa. Luego

se colocan bajo la tierra en campos de cultivo, lo que permite a las raíces de las plantas mantenerse hidratadas y crecer durante meses sin necesidad de lluvia o riego (Aqua Warehouses, 2009).

La lluvia sólida está formada de un polímero del tamaño de un grano de azúcar, que ionizan moléculas del agua y las mantienen unidas en un solo cuerpo. Cada uno de estos pequeños granos es capaz de aumentar su tamaño original 500 veces y mantener sin cambios las propiedades y características del agua. Así un kilogramo de estos polímeros es suficiente para solidificar 500 litros del vital líquido, que se pueden conservar sin problemas hasta por 10 años. En 2005, Rico realizó un estudio comparativo en sembradíos de maíz en un poblado de Jalisco, México, donde aplicó dos sistemas de riego: el tradicional a través del cual con lluvia líquida de temporal se cosecharon 600 kg/ha, y el de "Lluvia Sólida", con el que se recogieron 10 toneladas de grano por hectárea (Cámara Nacional del Maíz Industrializado, 2011).

La lluvia sólida se ha aplicado también en los poblados de Perote, Veracruz; la Piedad, Michoacán, Topilejo y Distrito Federal, así como en la India con sembradíos de papaya, mango, cacahuate, algodón, trigo y palmeras de coco. Con el sistema tradicional estos cultivos requieren riegos de 8 litros, una vez por semana, a diferencia del método con lluvia sólida, en el que solo es necesario un riego de 50 litros cada 3 meses. La lluvia sólida es un sistema de riego que, a diferencia de otros, como el goteo y cintillo, es el único que emplea agua en estado sólido; los resultados son extraordinarios porque la raíz se mantiene húmeda por varios meses y se rehidrata en repetidas ocasiones, con las precipitaciones. También se puede almacenar en costales, lo que permite su transporte hasta los lugares de más difícil acceso, como montañas donde se dificulta la entrada de pipas de agua, pero dónde es posible enviarlo en animales de carga.

Las dosis para el cultivo de maíz y frijol son 10gr/m lineal o 25kg/ha. Con el uso de Lluvia Sólida en cultivos de maíz y frijol se ha reportado un incremento de productividad de 100% a un 300%. Estas dosis varían porque la lluvia sólida se puede utilizar en cualquier planta, la dosis se calcula con el volumen de suelo que se extrae. Esta información se presenta en el cuadro 5, donde se muestra la dosificación en base al volumen del suelo que se extrae al momento de realizar el agujero en el suelo.

Cuadro 3. Dosificación de la lluvia sólida.

Dimensiones del hoyo en cm.	Volumen en litros de tierra	Dosificación en gramos	Dosificación en kilos
20 X 20 X 20	8	20	0.020
30 X 30 X 30	27	60	0.060
40 X 40 X 40	64	100	0.100
50 X 50 X 50	125	160	0.160
60 X 60 X 60	216	270	0.270
70 X 70 X 70	343	428	0.428
80 X 80 X 80	512	640	0.640
90 X 90 X 90	729	1000	1
100 X 100 X 100	1,000	1,250	1.250
150 X 150 X 150	3,700	4,500	4.25
200 X 200 X 200	8,000	10,000	10
300 X 300 X 300	27,000	33,750	33.750

Fuente: Silos de agua (2013).

Multiusos: La mezcla no solo es útil para la agricultura, también sirve para combatir incendios forestales, al colocar los granos hidratados en la ruta del fuego unos metros antes de llegar, esta paulatinamente consigue apagarlo por la humedad interna sin tener mayores riesgos.

2.3.8 Labranza mínima

La labranza mínima consiste en omitir el barbecho en la preparación del suelo. Se puede emplear únicamente la rastra o cindeles especializados. Los residuos vegetales son incorporados en la capa superficial del suelo con la rastra. El control de malezas puede ser mecánico mediante escardas o combinados con herbicidas (Lored, 2005).

Según Phillips y Young (1997), consultado por Rojas (2001), entre las ventajas del método de labranza mínima se incluyen las siguientes: Reducción de la erosión hídrica y eólica del suelo, aumento en la intensidad del uso de la tierra, mayor facilidad de la siembra y de cosecha; mayor retención de humedad, menor compactación del suelo, menor consumo energético; mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, puede disminuir la incidencia de malezas anuales, y evita la introducción de nuevas malezas. El comportamiento de plagas y enfermedades es variable.

El manejo correcto de los residuos de cosecha evita el proceso de degradación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. La práctica común de quemar los residuos con fuego de la cosecha anterior debe ser eliminada, ya que el carbono se pierde en la atmósfera en forma de CO₂ y con ello se pierde la opción de mejorar el contenido de materia orgánica en el suelo (Rojas, 2001).

En el corto plazo el agricultor podrá disminuir hasta en un 60% los costos por uso de maquinaria, combustibles y mantenimiento y en horas operario. También en el corto plazo, el agricultor verá la disminución en los niveles de erosión de los suelos y menor contaminación de aguas. En el mediano y largo plazo, observará una disminución en el uso de herbicidas y posiblemente de otros plaguicidas, que tendrá como resultado la disminución de la contaminación ambiental y disminución de costos de producción (Rojas, 2001). Al mismo tiempo, se espera un aumento en los niveles de fertilidad y de materia orgánica y un mejoramiento de las propiedades físicas y biológicas del suelo. Como consecuencia de lo anterior, se espera un aumento en los rendimientos.



Figura 1. Sistema de mínima labranza en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris*)

Fuente: Rojas, 2001

El incremento de la materia orgánica en el suelo aumenta el contenido de humedad prolongado, además de la fertilidad por la agregación de nutrientes debido a la descomposición de la materia orgánica. Así mismo, modifica las propiedades físicas y químicas del suelo, como el tipo de arcilla, aumentando así su capacidad de intercambio catiónico. Por lo tanto, esta práctica puede reducir el impacto de una sequía debido a que aumenta la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, comparado con un suelo que tiene materia orgánica en menor proporción.

2.3.9 Labranza nocturna

Es una práctica que, aunque no tiene investigaciones para determinar la cantidad de agua que se queda almacenada en el suelo y que no se evapora, se compara favorablemente con una labranza de día, donde la evaporación del agua es más violenta, debido a las altas temperaturas y la radiación directa hacia un suelo húmedo. Ayuda a disminuir el impacto de sequías en una etapa inicial del cultivo de maíz, frijol o cualquier otro cultivo. Se recomienda realizar esta práctica de preparación de suelos a partir de las 5 de la tarde, aunque lo ideal es hacerlo después de las 7 de la noche. Esto es para que el suelo húmedo que se expone a la superficie no pierda su humedad y esta pueda bajar por gravedad, de la superficie a unos centímetros por debajo y así quede a disposición de la planta. De esta manera, la evaporación de la humedad no será tan brusca al día siguiente.

2.3.10 Asocio de cultivos o policultivos

Los cultivos asociados representan una forma de incrementar la variedad de productos cosechados por unidad de superficie. Son ampliamente utilizados en medios tropicales y subtropicales, ya que proporcionan un ingreso adicional al agricultor en la misma unidad de terreno. Entre sus beneficios se encuentran una mayor eficiencia en el uso de los recursos edáficos y climáticos, así como ventajas relativas a la distribución temporal del trabajo de mantenimiento, en función de los requerimientos particulares de las especies asociadas (Quiroz, 2005). En Guatemala, esta práctica es generalmente utilizada en el altiplano, donde se produce maíz para subsistencia. En lugares donde se produce comercialmente, como Nueva Concepción y La Máquina, raramente se utiliza.

Dentro de los asocio, las condiciones climáticas inmediatas cambian, en comparación con la siembra en áreas donde están establecidos únicamente monocultivos. La temperatura, la radiación solar que llega directamente al suelo, la humedad, entre otras, cambian debido a que la cobertura de las plantas aumenta en el terreno. Esto impide que la radiación penetre hasta el nivel del suelo, creando un microclima más favorable a la conservación de la humedad residual del suelo.

Vandermeer (1992), consultado por Quiroz y Marín (2005), menciona que la combinación de especies con distinto ciclo y diferentes requerimientos hídricos, lumínicos y nutricionales mejora los rendimientos. Esto se logra a través de un mejor uso de los recursos disponibles en tiempo y espacio, aunque el manejo del sistema es más complejo y con limitaciones para

la mecanización de las labores. Otras ventajas, relacionadas con la sostenibilidad ecológica y económica de los agroecosistemas, son el control de la erosión, la conservación de la humedad y la disminución de la temperatura del suelo, el control de plagas y enfermedades y la restricción de las malezas (Quiroz y Marín, 2005).

2.3.11 Conservación de bosques

Según la FAO (2010), cerca del 8% de los bosques del mundo tienen la protección del suelo y de los recursos hídricos como función principal, lo que equivale a 330 millones de hectáreas de bosques. Dentro de esas funciones se encuentran: la protección contra deslizamientos, estabilización de dunas, lucha contra la desertificación o protección de las zonas costeras. El área de bosque designada para funciones de protección se ha incrementado en 59 millones de hectáreas entre 1990 y 2010.

Los bosques producen grandes cantidades de oxígeno a través de la fotosíntesis. Además, ayudan a mantener la temperatura global, formando grandes masas oscuras que absorben calor del sol y reducen así las temperaturas. Cuando se talan los árboles la superficie queda más clara y refleja los rayos solares, por lo que el calor vuelve a la atmósfera, generando un aumento de la temperatura. También son grandes reservas de carbono: cuando se queman o se talan, el carbono es liberado a la atmósfera. Además, los suelos con bosques son esponjas naturales que retienen el agua de lluvia y la liberan lentamente durante el verano; si se acaba el bosque se escasea el agua (Guerra 2013).

La cubierta vegetal ayuda a mantener el suministro de agua para beber, cerca del 25% de la población mundial depende de una forma u otra del agua de los bosques tropicales. Los bosques pueden influir en el clima de un sitio, la infiltración y la humedad residual del suelo, como lo muestra la siguiente figura. Los bosques ofrecen la protección de las cuencas hidrográficas porque estabilizan físicamente las partes altas; las raíces de los árboles bombean agua desde el suelo para poder ser utilizadas por las plantas, lo que reduce la posibilidad de que se produzcan derrumbes; y las raíces aumentan el agarre del suelo (Universidad Complutense, 2013).

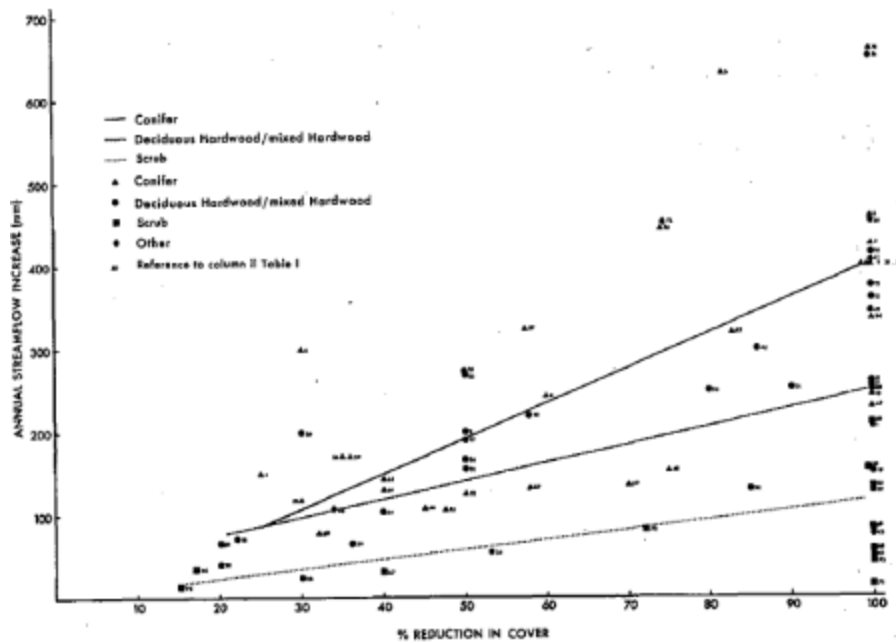


Figura 2. Escorrentía en función de la reducción de la cobertura del bosque

Fuente: Bosch et al., 1982.

En la figura anterior se muestra como se ve afectada la escorrentía de un sitio por la cobertura forestal, la disminución de la humedad del suelo y el aumento en la evapotranspiración. A menor cobertura forestal aumenta la cantidad de escorrentía en los suelos (Bosch et al., 1982).

2.3.12 Conservación de suelos para prevención de erosión hídrica

La erosión hídrica es la pérdida selectiva, recurrente y progresiva de la capa superficial del suelo por la acción del agua. Provoca un cambio en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Esto sucede porque la capa fértil se pierde conforme aumenta la erosión hídrica del suelo (Universidad de Granada, 2013). Cuando la erosión hídrica es alta, la cantidad de agua que se infiltra en el suelo es baja, comparada con suelos donde la erosión hídrica es menor. Esto provoca que la humedad residual en el suelo sea poca, debido a que el agua tiene mucho menor tiempo para infiltrarse en el suelo y por la gravedad busca las partes más bajas del terreno. La erosión hídrica provoca la disminución de la fertilidad, creando suelos más pobres que para producir necesitan de mayor cantidad de aplicaciones de fertilizante.

Al realizar prácticas de manejo y conservación de suelos como curvas a nivel, acequias, terrazas, curvas en contorno, entre otras, se aumenta el tiempo para que el agua se infiltre en el suelo y pueda almacenarse, por lo que se aprovecha mejor cada lluvia.

2.3.13 Protección de los recursos hídricos

La protección de los recursos hídricos debe ser prioritaria dado que es vital para la producción de cultivos agrícolas, pecuarios, además que para el consumo humano. El agua está entrando a un estado crítico en Guatemala y es necesaria su protección para garantizar el abastecimiento. Pagiola et al. (2002), explica que los bosques centroamericanos proveen los servicios hidrológicos en: Reducción en la carga de sedimentos en vías fluviales para evitar la acumulación de estos en reservas y la producción asociada, así como los costos de mantenimiento para sistemas de irrigación, energía hidroeléctrica entre otros. Regulación del flujo de los caudales para reducir el riesgo de inundación en temporada lluviosa y la probabilidad de almacenar agua para la temporada seca. Aumento en el volumen de agua disponible. Mejoramiento en la calidad de agua para uso doméstico. También agrega que la preservación de los bosques tiene un alto impacto en la regulación del ciclo hidrológico y la reducción de carga de sedimentación en reservas.

Así mismo, Aylward (2004), expone que la vegetación es una de las más importantes variables en el ciclo hidrológico, puesto que es el medio por donde la lluvia debe pasar para alcanzar el suelo e iniciar su retorno al océano. Además, el cambio de uso de la tierra involucra no sólo la modificación de la cobertura si no también la alteración de las condiciones de la superficie del suelo y subsuelo. Los impactos hidrológicos que resultan de estos cambios son a menudo agrupados en términos de impacto en los suelos y cambio en la calidad y cantidad del caudal.

Unas de las soluciones es proteger los recursos hídricos y reforestaciones en el área donde existan nacimientos o fuentes de abastecimiento de agua, a través de políticas gubernamentales. Esto garantizaría una restauración del ciclo hidrológico en la fuente de abastecimiento, creando un ambiente fresco e ideal para la condensación del agua. Este tema debe ser integrado con el manejo y conservación de suelos para propiciar la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. A su vez, esto evita que se formen altas escorrentías que puedan llegar a los cauces principales, provocando azolvamiento de ríos en las partes bajas y dejando a las partes altas con poca humedad residual en los suelos. Además, los bosques “sujetan” el suelo para que no existan derrumbes en el área.

2.3.14 Descontaminación y uso racional del agua

El agua es un bien limitado, cuya cantidad probablemente disminuirá en un futuro próximo como consecuencia del cambio climático. Su racional utilización debe orientarse a garantizar de una manera armónica un desarrollo sostenible y una amplia biodiversidad (Universidad de León, 2013). Muchas industrias utilizan el agua para sus procesos de producción, dando como resultado aguas contaminadas o no aptas para ser utilizadas que luego son vertidas en los ríos, lagos y lagunas. A esto se suman los desechos y aguas servidas que no son tratados antes de ser vertidos. Es necesario realizar procesos más eficientes, para disminuir la cantidad de agua utilizada. Acompañado a esto, es necesario el crear plantas y sistemas de tratamiento de agua para asegurar que los desechos no lleguen a los cuerpos de agua. En el caso del maíz y frijol, las prácticas de adaptación se recomiendan para disminuir las pérdidas y el impacto de las sequías. Cabe mencionar que la cosecha y almacenamiento de agua en la época lluviosa, puede ayudar a la disponibilidad de agua en la época seca.

2.3.15 Sistemas agroforestales

Según Meza (2003), los sistemas agroforestales son una combinación de los sistemas tradicionales de producción agrícola y ganadero con el forestal. Estos son practicados en la misma unidad de tierra, alternado o simultáneamente, con el fin de proveer estabilidad ecológica y beneficios sostenibles a los productores. Para la FAO, un sistema agroforestal o agroforestería se define como la combinación de árboles y arbustos con cultivo y/o ganado, una combinación de silvicultura y agricultura. Además, menciona que existen varios tipos de sistemas agroforestales, entre los cuales se pueden mencionar; sistema agrosilvopastoril, sistema agrosilvícola, sistema silvopecuario y huertos familiares (Meza, 2003).

Según Mendieta et al. (2007), la agroforestería es frecuentemente señalada como una solución a los problemas de degradación de la tierra y del agua, y como respuesta a la escasez de alimento, leña, ingreso, forraje animal y materiales de construcción.

A continuación, se presentan las principales funciones ambientales de los sistemas agroforestales:

Reducción de la erosión del suelo y mantenimiento de la fertilidad

- Función del árbol para el control de la erosión: barreras vivas en terrenos con pendiente pronunciada; protección del suelo por capa de hojarasca (reducción del impacto erosivo de las gotas de lluvia, efecto de la copa y del fuste en la reducción de la velocidad de caída de las gotas de lluvia).
- Función del árbol para el mantenimiento de la fertilidad: fijación biológica de nitrógeno, reciclaje de nutrientes desde las capas más profundas, formación de materia orgánica para el suelo. Barbechos mejorados (SAF) con especies fijadoras.

Mantenimiento de la cantidad y calidad del agua

- Aunque el potencial de los SAF para ayudar a asegurar el aprovisionamiento de agua (cantidad calidad) es la función de servicio menos estudiada, si se conoce que los árboles ejercen su influencia sobre el ciclo del agua a través de la transpiración y retención del agua en el suelo, la reducción del escurrimiento y el aumento de la filtración.

Retención de carbono y reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero

- Los SAF altamente productivos pueden tener una importante función en la retención de carbono en los suelos y en la biomasa de madera (en superficie y subterránea)

Mantenimiento y ordenación de la diversidad biológica en el paisaje agrícola

- Los SAF pueden desempeñar una función importante en la conservación de la diversidad biológica dentro de los paisajes deforestados y fragmentados. Lo hacen suministrando hábitat y recursos para las especies de animales y plantas, manteniendo la conexión del paisaje (facilitando el movimiento de animales, semillas y polen), creando condiciones de vida más amigables para los habitantes del bosque, reduciendo la frecuencia e intensidad de los incendios, disminuyendo potencialmente los efectos colindantes sobre los fragmentos restantes y aportando zonas de amortiguamiento a las zonas protegidas.

De servicio ecológico y protección

- Conservación del agua, el suelo y su fertilidad.

- Mejoramiento del microclima para plantas, animales y el hombre (modificación de la incidencia de la radiación solar, la temperatura, la humedad del aire y del suelo, y el viento).
- Protección de cultivos, animales y humanos (rompevientos, fajas protectoras, estabilización de taludes, etc.)
- Control de malezas a través de la sombra y cobertura.
- Servicios ambientales y ecológicos: regulación térmica e hidrológica, fijación de carbono y nitrógeno, provisión de oxígeno, limpieza de atmósferas contaminadas, conservación de la diversidad (especies nativas, aves migratorias, hábitat, etc.) paisajismo recreación y ecoturismo.

Existe una amplia gama de beneficios potenciales que los sistemas agroforestales pueden alcanzar, desde diversificación de la producción hasta la utilización mejorada de recursos naturales (Wallace et al. 2004) Los beneficios clave que brindan en términos de recursos naturales son:

Conservación de los suelos en términos de protección contra la erosión: Una cobertura de al menos 60% de materia orgánica durante un periodo de lluvias que pueden erosionar el suelo, reduciría en al menos un 10% este riesgo que en un suelo desnudo. Estos hallazgos tienen implicaciones en donde la tala de árboles no puede ser evitada. Si alguna parte del árbol puede ser retenida, o reemplazada por plantaciones de árboles, las pérdidas de suelo, materia orgánica y nutrientes será reducida.

Mejora o mantenimiento de la fertilidad del suelo: Los suelos que se encuentran bajo bosques naturales o superficies arbóreas son fértiles. Los sistemas agroforestales apropiados y bien manejados tienen un potencial para mantener la materia orgánica del suelo y sus propiedades físicas, además de promover el ciclo de nutrientes y su uso eficiente. Los ciclos de los nutrientes bajo ecosistemas forestales son relativamente cerrados, en contraste con los ciclos abiertos que tienen mayor cantidad de entradas (si son fertilizados) y con mayores salidas bajo sistemas de cultivos anuales. Podemos agregar que la práctica de rotación de cultivos ha demostrado la capacidad de los árboles de restaurar la fertilidad perdida durante la producción. Hay abundantes experiencias en cuanto a la reforestación, debido a la habilidad de los árboles para aumentar la fertilidad en suelos degradados. Además, ayudan en la conservación de agua y su uso eficiente.

Los sistemas agroforestales pueden ayudar a retener humedad en el suelo, debido a la disminución de la temperatura y la disminución de la radiación solar, provocando que la humedad tarde mucho más tiempo en el suelo. Por lo cual, es una excelente práctica de adaptación que brinda múltiples beneficios al agricultor, además que los sistemas agroforestales ayudan a soportar la variabilidad del clima a los cultivos en general. Antiguamente se practicaba el *Quesungual*, o *Kuxur Rum*, una práctica agroforestal que se realizaba en asocio de maíz (*Zea mays* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en combinación con árboles dispersos (Gamboa, 2008). Actualmente esta práctica se realiza en asocio con otros cultivos de primera necesidad, tales como el sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) y anuales como el melón (Gamboa et al, 2008). En el siguiente cuadro se presentan algunos resultados de rendimientos de los cultivos, en conjunto con frutales, bajo el sistema agroforestal que presenta Gamboa (2008) en el sistema Quesungual.

Cuadro 4. Rendimiento de los principales cultivo y frutales bajo el sistema agroforestal Quesungual en El Salvador

Sitio	Producción de cultivos					
	Maíz	Frijol	Sorgo	Cítricos	Mango	Sandía
	(quintales/ha)					
San Alejo	47,3	-	34,5	400	-	2.300
Monte San Juan	16	4	4	5.000	1.250	-
Yucuaniquin	58,1	9,4	24,5	150	450	-

Fuente: Gamboa et al, 2008

Este sistema agroforestal está dando buenos resultados en campo, no solamente para mejorar las condiciones del cultivo, sino que también reduce el impacto del cambio climático, así como aumenta los ingresos de los agricultores. En el siguiente cuadro se presentan los costos de producción de este sistema (mano de obra y costos de establecimiento y mantenimiento).

Cuadro 5. Requerimiento de mano de obra y costos para el establecimiento y mantenimiento del sistema agroforestal Quesungual.

Actividad	Mano de obra y costos			
	Unidad	Costo/día US\$	Cantidad	Total US\$
Chapia y poda	Jornal	2,7	8	21,6
Distribución de biomasa y residuos	Jornal	2,7	2	5,4
Siembra de cultivos	Jornal	0,7	5	13,5
Total		6,1	15	40,5

Fuente: Gamboa et al, 2008.

Las características principales de este sistema son:

- a. Consta de tres estratos de cobertura al suelo:
 1. Manejo de rastrojo y biomasa.
 2. Cultivos.
 3. Árboles maderables, frutales y arbustos.
- b. Estas tecnologías son funcionales para el trópico seco, a unos 140–800 metros sobre el nivel del mar.
- c. La siembra de frijol-maicillo la hacen al voleo y la del maíz en cero labranzas.
- d. Árboles de regeneración natural y dispersos con diferentes tipos de podas.
- e. Productores pequeños y medianos que poseen entre una y cinco manzanas de tierra, que se dediquen al cultivo de granos básicos (maíz, frijol maicillo) y que estén ubicados en zonas de ladera.

Los elementos que conforman el sistema son:

- a. Cultivos con tecnologías de manejo de suelo.
- b. Árboles y arbustos dispersos en regeneración natural.
- c. Coberturas al suelo.

Para que el sistema se dé se necesitan los siguientes requerimientos:

- a. No quema
- b. Cero labranzas
- c. Siembra directa
- d. Curvas a nivel
- e. Manejo de rastrojo

- f. Regeneración natural
- g. Diferentes podas y manejo de biomasa
- h. Árboles dispersos
- i. Cultivos de cobertura
- j. Manejo Integrado de plagas (MIP)
- k. Barreras vivas
- l. Densidades combinadas con árboles y cultivos
- m. Árboles de uso múltiple y frutales

2.4 Vientos fuertes

Los vientos son movimientos de aire que varían continuamente de dirección, velocidad, fuerza y regularidad. Su acción sobre el ambiente y la vegetación tiene varias e importantes connotaciones para la producción agrícola. Por una parte, el viento contribuye con la diseminación o migración de la vegetación al transportar polen y semillas pequeñas a distancias considerables; participa en el ciclo hidrológico al transportar del mar a tierra firme grandes nubes, que generalmente causan precipitaciones. La circulación y renovación del aire que rodea las plantas asegura una constante provisión de dióxido de carbono (CO₂) necesario para la fotosíntesis, un proceso en el que se libera oxígeno, un elemento de vital importancia para la vegetación (Pérez et al, 2005).

Por otra parte, el viento, en interacción con otros elementos del ambiente como la temperatura, acentúa la pérdida de humedad del suelo. Esto favorece la erosión de este (erosión eólica) y la deshidratación de los tejidos vegetales. Así mismo, incide en la malformación de la estructura de las plantas y acame de las mismas y en la caída de hojas, flores y frutos, que en conjunto inciden de manera severa sobre el crecimiento y el proceso productivo de la planta (Pérez et al, 2005).

2.4.1 Principales efectos del viento sobre las plantas:

a) Cambios en los hábitos de crecimiento

El crecimiento de arbustos y árboles es influenciado por el viento, a manera que puede causar enanismo o crecimiento retardado. Esto se hace evidente cuando aparecen nuevos rasgos morfológicos y anatómicos. Por ejemplo, las hojas son más pequeñas en área, los espacios intercelulares se reducen en tamaño, los tejidos del xilema y floema se desarrollan más fuertes y la cantidad de tejido fibroso aumenta considerablemente (Pérez et al, 2005).

b) Daños mecánicos

El aire en movimiento es capaz de causar un considerable daño mecánico a los brotes de las hojas. Por agitación o doblamiento continuo, puede quebrar o constreñir los tejidos vasculares de los conductos principales, pecíolos y tallos. Esto reduce el transporte de agua en la planta. La acción mecánica de agitación sobre las flores y frutos provoca la caída de muchas de ellas. Los vientos secos y calientes durante la época de floración también tienen un efecto perjudicial sobre la polinización. En los estigmas, secan su líquido adherente e impiden la retención de los granos de polen.

Si bien estos cambios de tipo xeromórfico tienden a reducir la intensidad de transpiración por unidad de área en la superficie de la planta, al decrecer el follaje, disminuye la actividad fotosintética y la respiración. En consecuencia, la capacidad de producción de esta se ve reducida. Para producir un kilogramo (1 kg) de frutos cítricos es necesaria un área mínima de 2,3 m² de hojas, en plantas de nueve años (Pérez et al, 2005).

2.4.2 Aporque

Consiste en colocar tierra en la base del tallo del cultivo de maíz para ampliar el anclaje hasta el tallo de la planta lo que contribuye a reducir el acame por vientos fuertes. Esta práctica se puede llevar a cabo de manera mecanizada o manual. Mecanizada utilizando un tractor y una cultivadora, lo que también contribuye al control de malezas. De forma manual, utilizando azadón y removiendo el suelo en el entresurco y depositándolo sobre el surco. Esto crea camellones, donde el maíz queda ubicado sobre el camellón; esto a la vez crea un canal de drenaje para drenar el exceso de agua especialmente durante la época de alta precipitación.

2.4.3 Cortinas rompevientos

Según CIAT, las cortinas rompevientos consisten en una o más hileras de árboles y arbustos en dirección perpendicular al viento dominante y dispuestas en tal forma que obliguen al viento a elevarse sobre sus copas, con lo cual disminuye la velocidad. El viento es perjudicial cuando adquiere una velocidad mayor a los 2 m/seg.

Porcile (2007) enumera los tipos de cortinas rompevientos, las cuales son: perimetrales e interiores. Las perimetrales son aquellas que protegen el contorno de la plantación y son de composición mixta. Las interiores separan los sectores en que se divide el

emprendimiento y son de composición simple, es decir de una sola especie arbórea. La función principal de las cortinas rompevientos es disminuir la velocidad del viento para que no golpee y bote las plantas de maíz. Generalmente las plantas más vulnerables son las de materiales criollos por tener portes altos.

Cabe mencionar que según Lassig, las cortinas rompevientos deben ser poco densas porque si no actúan como cortinas impermeables y protegen menor superficie. A continuación, se muestra el comportamiento del aire en cortinas poco densas y densas.

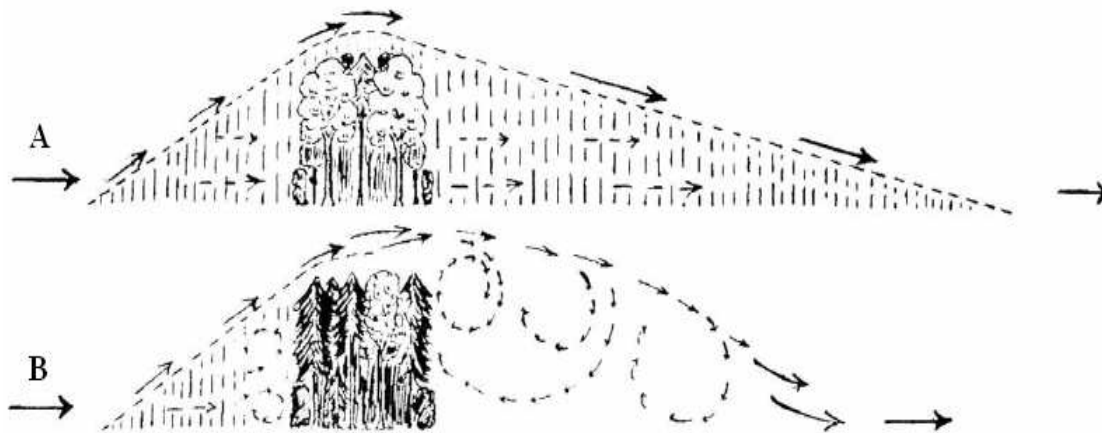
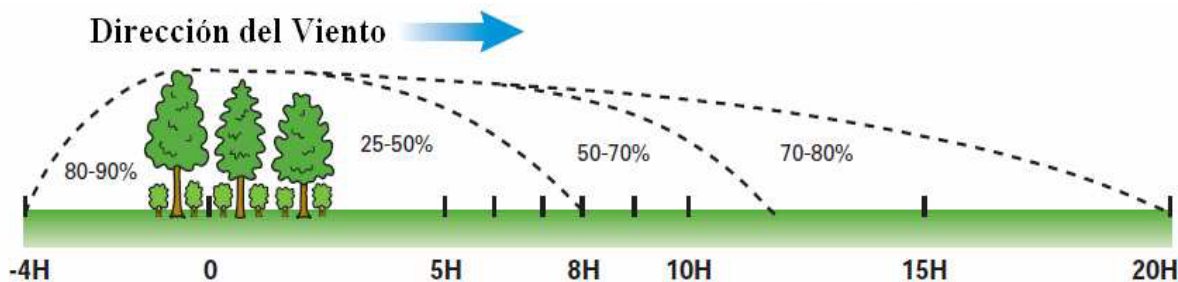


Figura 3. Comportamiento del viento en una cortina rompevientos.

A: Barrera forestal muy densa, se comporta como impermeable y provoca grandes vórtices detrás de la misma, y la atenuación del viento cubre menos distancia, comparada con **B:** barrera forestal porosa. Fuente: Lassig y Pálese, 2011

Por lo tanto, dependiendo de la densidad de las barreras o cortinas rompevientos, así es la distancia (H) que logran proteger de los vientos fuertes. ¿Qué tanto puede reducir la velocidad del viento una cortina rompevientos? En la siguiente figura se presenta el grado de atenuación del viento detrás de una cortina forestal de porosidad media



Distancia desde la Barrera Forestal expresada en alturas H de la misma

Figura 4. Esquema orientador del grado de atenuación

Del viento detrás de una barrera forestal

Fuente: Lassig y Palese, 2011

Las especies que se pueden utilizar dependen de su altura (Porcile (2007)).

- Las especies de altura recomendadas son: géneros Casuarina, Eucalyptus, Grevillea y Pinus.
- Las especies de menor porte: género Acacia, Myoporum, Pittpsorum, Shinus, o Rosaceas de los géneros Cotoneaster, Crategus y Pyracantha.

Los distanciamientos se deberán ajustar a las condiciones propias del sitio y dependerán a su vez de factores tales como el tipo, composición de cortina y número de filas. Porcila agrega algunos distanciamientos de las especies en función de su altura. Para los de mayor altura y 1 sola fila recomienda un distanciamiento entre plantas de 1-1.5 m. En el caso de 2 filas o más, indica un distanciamiento entre plantas de 1-2.5 m. Por el otro lado, para las especies de baja altura, recomienda 1 sola fila: distancia entre plantas 0.5-1 m.

2.4.4 Uso de la diversidad genética local

Se recomienda utilizar la diversidad genética local, puesto que los materiales criollos tienen el código genético “completo”, es decir, su composición no ha sido alterada como en el caso de los materiales que están genéticamente mejorados. Cuando se seleccionan sólo algunas características deseables de los materiales, estos van perdiendo genes durante cada proceso, llamado erosión genética. Debido a que Guatemala es centro de origen del maíz existe mucha diversidad biológica de la planta. Además, la variabilidad micro climática del país hace que los materiales se adapten a diferentes condiciones climáticas y en algunos casos, sólo los materiales criollos se adaptan.

La selección de la semilla tiene que ver con los objetivos en la siembra que tengan los agricultores. Un agricultor que tiene como objetivo producir para autoconsumo o subsistencia normalmente utiliza materiales criollos; quién ha utilizado semilla criolla toda su vida difícilmente cambiará a una mejorada. Si su objetivo final es comercializar, generalmente el agricultor selecciona los materiales mejorados. Esto también depende de los recursos económicos, dado que los materiales mejorados son más costosos.

2.4.5 Época de siembra

Esta práctica consiste en realizar un calendario anual de todas las posibles amenazas climáticas y los meses donde aumenta la probabilidad de ocurrencia. Al tener este calendario se ubica la mejor época de siembra, donde la probabilidad de que ocurran estas amenazas sea lo más alejado posible de la etapa de floración en los cultivos de maíz y frijol. Se requiere ubicar los meses del año donde ocurren los vientos fuertes y dependiendo de ello se seleccionan los materiales a utilizar (materiales de porte bajo, tallos gruesos, raíces profundas).

2.4.6 Conservación del bosque

La conservación de los bosques ayuda a reducir la velocidad del viento, dado que los bosques actúan como cortinas rompevientos, manteniendo velocidades bajas. Esto a su vez ayuda a contrarrestar otras amenazas climáticas como los son: las sequías (en la sección anterior), las heladas y el aumento de temperatura.

2.4.7 Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales son prácticas de adaptación a múltiples amenazas climáticas, porque ayudan a la regulación de variables meteorológicas, desde las sequías hasta las heladas. Estos también ayudan a reducir los vientos fuertes, porque funcionan como cortinas rompevientos.

2.5 Lluvias fuertes (inundaciones)

Aparte de las condiciones propias de la climatología local, las inundaciones son fenómenos que también se desarrollan y magnifican por la conjugación de factores geomorfológicos (relieve) e hidrogeológicos de las cuencas. La influencia de la actividad humana (deforestación, erosión inducida) ha incrementado sus riesgos. Todo ello participa de los

aspectos ligados a la capacidad de regulación y amortiguamiento que posean las cuencas, aspectos que se aplican a casi todas las de la región estudiada (OEA, 1987). A continuación, se presenta una serie de prácticas que pueden ayudar a contrarrestar o prevenir el efecto de inundaciones ocasionadas por lluvias fuertes.

2.5.1 Drenajes

El drenaje se define como la evacuación del exceso de agua en el suelo. Es tan importante como el riego, ya que en forma conjunta mantienen en el suelo un ambiente propicio para obtener producciones óptimas (Cruz, 1995). Cruz agrega que el exceso de humedad produce una reducción en el contenido de oxígeno en el suelo que disminuye la tasa de respiración de las raíces de la planta, la mineralización del nitrógeno, la absorción de agua y nutrientes y propicia la formación de sustancias tóxicas. También agrega que los drenajes son métodos para controlar inundaciones y por ello se realizan construcciones de diques paralelos a los cauces para evitar su desbordamiento.

El tamaño del drenaje está en función de la intensidad de lluvia o lluvia de diseño en el sitio, el tiempo que soporta el cultivo bajo estas condiciones, la textura del suelo y el cultivo. Los drenajes deben de tener pendientes suaves, como lo menciona Gálvez (2004); la pendiente del terreno debe ser del 2% o menor para disminuir la erosión del suelo.

2.5.2 Monitoreo de datos pluviométrico

Esta práctica permite identificar la cantidad de precipitación en 24 horas, a través de estas lecturas se puede predecir la existencia de una posible inundación, un desbordamiento de río, deslaves por la saturación de humedad en el suelo, u otros problemas derivados de las inundaciones. Además, el monitoreo de datos pluviométricos ayuda en la planificación de riegos, fertilización, aplicación de pesticidas, detectar el inicio de la época lluviosa, así como otras labores que serán aplicadas a los cultivos.

2.5.3 Sistema de alerta temprana

Los Sistemas de Alerta Temprana (SAT) no pueden disminuir el impacto de las lluvias fuertes. Sin embargo, si pueden detectar la intensidad, el incremento de la precipitación y el tiempo de concentración en una zona puntual que pueden llegar a provocar inundaciones las cuales pueden convertirse en desastres afectando cultivos, infraestructura y sobre todo, provocando pérdida de vidas humanas (Alfaro 2013).

Los SATs juegan un papel importante, ya que sirven para alertar a la población de los cambios drásticos que pueden tener las lluvias y el incremento en el caudal de los ríos. La población puede ser alertada, con varias horas de anticipación, de los posibles daños que puede llegar a provocar dicha amenaza. Se parte de análisis y estudios técnicos que se deben efectuar con antelación, para conocer los tiempos de concentración de un punto a otro y determinar el grado en que pueden afectar estos cambios sobre la población.

2.5.4 Gestión de riesgo

Las lluvias fuertes y el incremento de estas es un fenómeno natural que puede llegar a convertirse en desastre cuando la población desconoce su entorno y no han ejecutado medidas de prevención para mitigar el impacto de estas. Aunado al desconocimiento, se cuenta con la alteración que ha provocado el ser humano al ecosistema como producto de procesos productivos y de subsistencia (Alfaro 2013). Los efectos de los desastres pueden evitarse o disminuirse con una buena gestión de riesgo, con énfasis especial en la educación a la población, para que las personas conozcan e identifiquen sus principales amenazas y el grado de vulnerabilidad al que están expuestos.

Es importante modificar la forma en que los seres humanos nos relacionamos con la naturaleza y el ambiente. Esto, con el objetivo de hacer del lugar el cual habitamos, un lugar más seguro, potencializando la capacidad de prepararse y dar respuesta ante una emergencia (Alfaro, 2013).

2.5.5 El manejo integrado de cuencas como estrategia de gestión territorial para la adaptación al cambio climático¹

El Manejo Integrado de Cuencas (MIC) es considerado un proceso que promueve la gestión coordinada del agua, el suelo y otros recursos naturales bajo un enfoque social, económico y ambiental, considerando la cuenca como unidad territorial lógica. Su uso permitiría enfrentar el desafío del cambio climático de manera operativa, puesto que presenta virtudes en las dimensiones que deben considerarse al momento de plantear la adaptación a los cambios futuros (REDLACH, 2009).

¹ Tomado de Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas –REDLACH-

En el MIC se toma al ser humano como el centro de las acciones y decisiones que se toman en una cuenca, ya que su objetivo principal es llegar a un estado de mayor bienestar donde se considera al medio ambiente, definido por la cuenca hidrográfica, como un medio socio natural donde se toman las decisiones asociadas al desarrollo; que la incerteza y la incertidumbre son parte de las condiciones futuras que hay que enfrentar y a las cuales es necesario adaptarse (REDLACH, 2009).

En el marco del MIC, cualquier acción propuesta en la cuenca debe recoger los intereses de la sociedad y sus requerimientos de desarrollo económico en un marco de diversidad cultural. El MIC promueve el cambio en la lógica del pensamiento, permitiendo desarrollarse desde lo local hacia lo global de forma organizada y participativa, lo que permite solucionar conflictos entre múltiples usuarios culturalmente diferentes se encuentran ligados por un recurso compartido. Así, el MIC plantea una fusión del conocimiento científico con el conocimiento local como punto de partida de la toma de decisiones; es una aproximación metodológica que aspira a combinar la restauración ecosistémica con la descentralización del proceso de toma de decisiones e implementar una perspectiva integral para tender al desarrollo (REDLACH, 2009).

Cuadro 6. Análisis de las acciones de adaptación bajo el enfoque del MIC frente a impactos del cambio climático proyectados

Cambio proyectado	Ejemplos de impactos proyectados (aumento; disminución)		Adaptación desde la perspectiva del Manejo Integrado de Cuencas
	Agricultura, silvicultura y ecosistemas	Recursos hídricos	
Aumento de la temperatura	Aumento evapotranspiración por aumento de temperatura. Disminución de rendimiento en entornos más cálidos. Aumento de plagas. Aumento de degradación de la tierra. Inhabilitación y daño a cultivos.	Cambio en el ciclo de la escorrentía. Efectos sobre ciertos suministros hídricos.	Uso de técnicas de conservación de agua, como por ejemplo, zanjas de infiltración y surcos en contorno. <ul style="list-style-type: none"> • Incorporación de variedades resistentes a condiciones extremas, o cambio de especies productivas, diversificación de la producción. • Implementación de manejo integrado de plagas. • Planificación territorial incluyendo zonas de riesgos por amenazas naturales. • Uso de técnicas de control de la escorrentía. • Implementación de sistemas silvoagropecuarios. • Coordinación intersectorial en la planificación y uso del agua. • Planificación y gestión conjunta de la cantidad y la calidad del agua. • Coordinación de acciones interinstitucionales de fomento en infraestructura. • Generación de instancias formales de resolución de conflictos, previas a la judicialización de los mismos. • Evaluación de alternativas productivas acorde a nuevas condiciones hidrológicas.
Cambio en el patrón de precipitación	Disminución de disponibilidad de aguas lluvia. Aumento de riesgo de incendios incontrolados. Disminución de rendimiento de los cultivos. Disminución en la disponibilidad de agua para el mantenimiento de ecosistemas	Mayor escurrimiento superficial. Disminución en acumulación de agua Mayor frecuencia de sequías	
Impacto hidrológico	Disminución en la oferta hídrica para riego Aumento de riesgo para la infraestructura. Aumento de número y magnitud de los conflictos por acceso al agua.	Disminución en la calidad del agua superficial debido al arrastre de sedimentos. Aumento de contaminación de suministros hídricos. Cambio de la relación entre los componentes del ciclo hidrológico.	

Fuente: Elaboración en base a información de REDLACH (2009)

La adaptación al cambio climático bajo el planteamiento del MIC conjuga medidas de carácter técnico orientados al medio físico, como la conservación y rehabilitación de cuencas, así como medidas de carácter social, como la generación de espacios de diálogo y resolución de conflictos, medidas económicas como el fortalecimiento comercial o el cambio de los patrones productivos al interior de una cuenca. En Chile, los impactos esperados agudizan la vulnerabilidad de las actividades silvoagropecuarias,

específicamente sobre la disponibilidad de los recursos hídricos. El MIC entrega alternativas concretas integradoras capaces de enfrentar estos impactos adaptándose a los cambios.

2.5.6 Uso de camellones para la siembra

El uso de camellones para la siembra facilita el drenaje del exceso de agua de lluvia, brindando únicamente ventajas en comparación de la siembra en áreas planas (Quijada, 2013). Al sembrar cultivos escardados sobre camellones (montículos entre 12 y 15 cm de altura que forman las hileras de siembra), mejoran los rendimientos: el suelo gana en temperatura (es entre 2 y 3 grados mayor que en el surco), hay mejor drenaje de agua de lluvia, la altura disminuye el riesgo de exposición a hongos y malezas, se optimiza el uso de fertilizantes, se evita la aporca y el riego es más fácil. La siembra se puede adelantar hasta en un mes y así obtener mejores precios por cosecha más temprana, menores costos de secado y una rápida descomposición del rastrojo. Además, la preparación de suelo con el uso combinado de elementos reduce el paso de maquinaria entre un 30% y 50% y, en consecuencia, los costos.

2.5.7 Conservación de suelos

Las prácticas de conservación de suelos pueden servir en terrenos donde existe exceso de lluvia para conducir el agua y almacenarla. Los diferentes métodos que existen para alcanzar este objetivo son: zanjas de infiltración, estanques de infiltración, represas de infiltración e inundación controlada para la infiltración (Chan 2012).

La conservación de suelos contribuye a aumentar el tiempo de infiltración del agua en el suelo, evitando así que la escorrentía que se pueda formar por exceso de lluvias ocasione erosión hídrica. La conservación aumenta la humedad del suelo, pero no ocasiona inundaciones que causen un daño al cultivo. La función de la conservación es reducir la velocidad del agua, pero cuando hay mucha, esta busca salidas a partes más bajas del terreno, drenándose lentamente comparado con terrenos donde no existe conservación de suelos. Además, esta agua puede ser aprovechada con el uso de pequeños reservorios de almacenamiento de agua, guiando la escorrentía a los mismos (SICTA 2013).

2.5.8 Época de siembra

Como se ha mencionado anteriormente, la mejor manera de iniciar esta práctica es hacer un calendario anual de las amenazas climáticas, para detectar en cuál época del año se

necesita una menor inversión para producir maíz y frijol. En el siguiente cuadro se presenta un ejemplo de un calendario anual, donde en cada mes del año se ponen las amenazas que afectan a los cultivos.

Cuadro 7. Calendario anual de amenazas climáticas que afectan en un ciclo del maíz.

Amenaza	Meses del año											
Sequía	■	■	■	■	■			■				
Lluvias fuertes							■		■	■	■	
Vientos fuertes							■	■	■	■	■	■
Heladas	■	■										■
Granizo	■	■										
Aumento temperatura			■	■	■	■	■	■	■	■		
Inicio de la época lluviosa				■	■	■						
Ciclo corto del maíz					■	■	■	■				
Ciclo largo del maíz		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	

Fuente: Elaboración propia en base a información recolectada.

El objetivo de realizar este calendario de amenazas climáticas es, no solo detectarlas, sino también planificar posibles prácticas para contrarrestarlas. Para este ejemplo las amenazas detectadas son: sequías, lluvias fuertes, vientos fuertes, aumento de temperatura e inicio de la época lluviosa.

2.5.9 Cosecha y almacenamiento de agua

La cosecha y almacenamiento de agua es fundamental durante la época lluviosa para garantizar su aprovechamiento. Ésta podrá ser aprovechada en el momento que exista una sequía que puedan causar impactos negativos al cultivo. Además, en lugares donde no hay acceso a agua, esto contribuye a su disponibilidad para el momento que se necesite realizar la fumigación de pesticidas o fertilizantes. Existen diferentes métodos, desde los más sencillos, como lo pueden ser pequeñas excavaciones recubiertas con nylon, hasta casas que tengan un sistema en el techo de recolección y almacenamiento por tuberías a tanques (como se muestra en la siguiente figura).



Figura 5. Cosecha y almacenamiento de agua en el hogar.

Fuente: www.diarioelcentro.cl

2.6 Aumento de la temperatura

2.6.1 Sistemas agroforestales

Los sistemas agroforestales reducen la temperatura, generando así que los cultivos se adapten mejor dentro del sistema agroforestal, que fuera de él. Para ello, la temperatura atmosférica debe ser mayor al rango permitido del cultivo y la temperatura del sistema agroforestal se debe encontrar dentro del rango óptimo del cultivo.

2.6.2 Materiales genéticos adaptados

Durante el mejoramiento genético de materiales de maíz o frijol se seleccionan aquellos que se adaptan muy bien al clima de una región y que obtienen buenos rendimientos.

La producción de semilla de frijol se realiza en los meses de enero a abril, en los cuales la temperatura va en aumento, oscilando entre los 33-36 °C en el suroccidente. En el frijol, esto provoca aborto de flores y como resultado malos rendimientos de producción. Sin embargo, en estas semillas se identifican materiales que toleran temperaturas altas y con ello también se están desarrollando materiales más tolerantes a estas temperaturas del suroccidente de Guatemala.

En el caso del maíz, que tolera un mayor rango de temperaturas (10°C a 40°C) comparadas con el cultivo del frijol, normalmente no existen problemas, aunque cabe mencionar que esto durará hasta que la temperatura atmosférica sobrepase el rango de temperatura óptimo.

2.6.3 Gestión de riesgos y época de siembra

Se realiza un calendario anual de amenazas climáticas, para seleccionar la época del año en que ocurren menos amenazas. Al igual que para las demás amenazas climáticas, es necesario identificar que amenazas ocurrirían durante todo el ciclo del cultivo de maíz y frijol, para poder diseñar un plan de manejo adaptado al cambio climático.

2.6.4 Asocio de cultivos

El asocio de cultivos contribuye a mantener la superficie del suelo cubierta por algún tipo de cultivo, disminuyendo el aumento de temperatura sobre la superficie del suelo. Funcionan como los sistemas agroforestales, reduciendo la temperatura en el área donde se encuentran. Esto contribuye a que cultivos poco tolerantes a altas temperaturas puedan producirse y a la vez obtenga buenos rendimientos y que el terreno por sea más rentable que un monocultivo.

Actualmente se recomienda el cultivo de maíz en doble surco (ver Figura 6), dejando uno de cada dos surcos más anchos. Con ello se puede sembrar varios cultivos, obteniendo así un sistema más rentable y eficiente en cuando a la producción por área.



Figura 6. Maíz en surcos dobles.

Fuente: www.ruralprimicias.com.ar

2.7 Heladas

Una “helada” es la ocurrencia de una temperatura del aire de 0°C o inferior, medida a una altura de entre 1,25 y 2,0 m por encima del nivel del suelo, dentro de una garita meteorológica adecuada. El agua dentro de las plantas puede congelarse durante un evento de helada, dependiendo de varios factores de evitación (por ejemplo, súper enfriamiento y concentración de bacterias nucleadoras de hielo) (FAO, 2010).

Las técnicas de protección contra heladas normalmente se dividen en métodos pasivos y activos. Los métodos pasivos (Cuadro 8) son los que actúan en términos de prevención, normalmente para un periodo largo de tiempo y cuyas acciones son particularmente beneficiosas cuando se producen las condiciones de helada. Los métodos activos (Cuadro 9) son temporales y requieren intensamente energía o trabajo, o ambos (FAO, 2010).

Cuadro 8. Métodos de protección pasivos contra heladas.

Categoría	Subcategoría	Métodos de Protección
Pasiva	Biológica (evitación o resistencia)	Inducción de resistencia a la congelación sin modificar la genética de las plantas
		Tratamiento de las semillas con agroquímicos
		Selección de plantas y mejora genética
		Selección de fechas de plantación para cultivos anuales una vez la probabilidad de helada ha disminuido
		Selección de especies por el momento de desarrollo fenológico
	Ecológica	Reguladores del crecimiento y otras sustancias químicas
		Selección de emplazamiento para cultivar
		Modificación del paisaje y microclima
		Control del estado nutritivo
		Manejo del suelo
		Control de la cobertura del cultivo (malas hierbas) y otras coberturas

Fuente: FAO, 2010.

Cuadro 9. Métodos de protección activos contra heladas.

Categoría	Subcategoría	Métodos de Protección
Activa	Coberturas y radiación	Materiales orgánicos
		Coberturas con soporte
		Coberturas sin soporte
	Agua	Aspersores sobre las plantas
		Aspersores bajo las plantas
		Micro aspersores
		Riego por superficie*
		Niebla artificial
	Estufas	Combustible sólido
		Combustible líquido
		Propano
	Máquinas de viento	Horizontal
		Vertical
		Helicópteros
	Combinaciones	Ventiladores y estufas
Ventiladores y agua		

Fuente: FAO, 2010.

En esta sección se proponen principalmente métodos pasivos, puesto que normalmente son menos costosos que los métodos activos y a menudo los beneficios son suficientes para evitar la necesidad de la protección activa.

2.7.1 Gestión de riesgos y época de siembra

Estas prácticas se realizan con el fin de conocer cuáles son las amenazas que pueden ocurrir durante el ciclo del cultivo, y en base a esto realizar un plan de manejo del cultivo. De esta forma se puede disminuir el impacto que puedan ocasionar y minimizar las pérdidas.

2.7.2 Manejo del drenaje de aire frío (protección pasiva)

Para este método es necesario conocer el patrón del drenaje del aire y así poder colocar obstáculos adecuadamente y que estos desvíen el aire frío. Cualquier obstáculo que impida el drenaje de aire frío pendiente abajo, desde un cultivo, debe eliminarse. La orientación de los surcos debe de realizarse a favor de la corriente del aire para facilitar el drenaje del aire frío (FAO, 2010).

2.7.3 Selección de plantas (protección pasiva)

Se deben de seleccionar plantas con floración tardía y plantas más tolerantes a la congelación. Es importante conocer el ciclo del cultivo para tratar de utilizar una época donde la probabilidad de ocurrencia de esta amenaza climática disminuya (FAO, 2010).

2.7.4 La cobertura con árboles (protección pasiva)

Ejemplos de esta cobertura se da en los cafetales, donde los árboles de sombra son utilizados para proteger. Las copas sirven como medio de intercepción, evitando que el aire frío descienda y dañe el cultivo. Otro ejemplo son las plantaciones de mandarina con pinos; los pinos favorecen la radiación incidente de ondas largas y proporcionando también la protección a los mandarinos (FAO, 2010).

2.7.5 La nutrición de las plantas (protección pasiva)

Las siembras enfermas son más susceptibles al daño por heladas y la fertilización mejora la salud de las plantas. Para favorecer el endurecimiento de las plantas, es necesario evitar las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados y después de una helada brindarle fosforo (favorece a la división celular) a la planta para ayudar a la recuperación del tejido (FAO, 2010).

2.7.6 Evitar el laboreo del suelo (protección pasiva)

El trabajo del suelo aumenta el almacenamiento del aire en el suelo puesto que crea espacios de aire en este, por lo que contribuye a que la temperatura descienda, ya el aire tiene baja capacidad de retención de calor. Debe evitarse esta práctica durante una helada; o si se labra el suelo, hay que compactarlo y regarlo, para mejorar la transferencia y el almacenamiento del calor (FAO, 2010).

2.7.7 Riego (protección pasiva)

Cuando los suelos están secos existe mayor porosidad para que el aire penetre y disminuye la transferencia y almacenamiento de calor. La transferencia de calor se mejora humedeciendo los suelos para mantener la humedad. Esto también oscurece los suelos y aumenta la capacidad de absorción de radiación solar. Es recomendable humedecer los suelos secos con antelación a la helada, de forma que el sol pueda calentar el suelo. (FAO, 2010).

2.7.8 Las coberturas de los suelos

Las coberturas con plásticos se utilizan con frecuencia para calentar el suelo y aumentar la protección. Los plásticos claros calientan más el suelo que los plásticos negros, y humedecer el suelo antes de aplicar el plástico mejorará más su eficacia (FAO, 2010).

2.7.9 Otros métodos

Los métodos de protección activa incluyen:

Las estufas

Los ventiladores

Los aspersores

El riego por superficie

El aislamiento con espuma

Las combinaciones entre métodos

Todos los métodos y combinaciones se implementan durante la noche de ocurrencia de heladas para mitigar los efectos de las temperaturas bajo cero. Estos métodos funcionan cubriendo completamente la superficie del suelo con algún material o intercambiando la masa de aire caliente (que se encuentra en la atmosfera, sobre los 100 metros sobre la superficie) con la masa de aire frío (que se encuentra en la superficie del suelo) (FAO, 2010).

2.7.10 Acerca de los Sistemas Agroforestales

Los sistemas agroforestales contribuyen al estacionamiento de una helada y por ello es necesario realizar podas en los árboles para disminuirla. Así, la radiación pueda llegar al suelo y este almacene calor. De acuerdo con la FAO (2010), eliminar los cultivos de cobertura favorecerá la absorción de la radiación por el suelo, lo cual mejora la transferencia y almacenamiento de energía. Además, agrega que se deben pintar los troncos de los árboles con pintura blanca para mejorar la dureza contra el daño por heladas. Costos de implementación de prácticas de adaptación

Para seleccionar las prácticas de adaptación es necesario conocer algunas características del tipo de ciclo del maíz, el área de siembra y la pendiente del terreno, esto porque pueden ser limitantes para la implementación. Por ejemplo, existen dos tipos de maíz que se

diferencian por la duración de su ciclo de producción, uno de ciclo largo que tiene una duración de siete meses y otro de ciclo corto que tiene una duración de cuatro meses. Los maíces de ciclo largo se siembran en lugares templados y fríos de Guatemala, generalmente lugares con mucha pendiente y con extensiones pequeñas de área (<0.5 ha), y los de ciclo corto se siembran en lugares cálidos, generalmente lugares con poca pendiente y con extensiones mayores de área (>0.5ha). Lo ideal identificar las mejores prácticas de adaptación para el lugar de interés considerando esas características.

En esta sección se presenta una estimación de los costos de las prácticas de adaptación utilizando de referencia la vida útil y los costos para su implementación. Algunas prácticas están consideradas para cierto ciclo de maíz, cierta pendiente y ciertas áreas de siembra (Cuadro 10).

Cuadro 10. Costos de las prácticas de adaptación priorizadas para el maíz.

	Práctica de adaptación	Características del lugar de implementación	Costo total de la práctica	Ciclos de vida útil	Costo por ciclo del maíz
1	Surcos en contra de la pendiente (ha)	Ciclo largo, mucha pendiente	Q1,668	1	Q1,688
2	Uso de materiales tolerantes a sequía (ha)	Ciclo corto, poca pendiente, áreas grandes	Q1,200	1	Q1,200
3	Monitoreo de la precipitación (ha)	Todos	Q15,000	15	Q1,000
4	Sistemas agroforestales (ha)	Mucha pendiente, áreas pequeñas	Q4,687	9	Q521
5	Labranza mínima (ha)	Ciclo corto, áreas grandes, poca pendiente	Q496	1	Q496
6	Terrazas, acequias (ha)	Mucha pendiente, áreas pequeñas, ciclo largo	Q14,408	30	Q480
7	Asocio de cultivos (ha)	Todos	Q456	1	Q456
8	Silos de agua (poliacrilato de potasio)	Todos	Q7,895	21	Q376
9	Uso de camellones (ha)	Todos	Q350	1	Q350
10	No quema e incorporación de residuos (Ha)	Todos	Q294	1	Q294
11	Aporque (ha)	Todos	Q294	1	Q294
12	Manejo post-cosecha (ha)	Todos	Q2,868	21	Q137
13	Cortinas rompevientos (ha)	Todos	Q3,656	30	Q122
14	Cosecha y almacenamiento de agua (ha)	Áreas pequeñas	Q271	3	Q90
15	Drenajes (ha)	Todos	Q800	15	Q53
16	Labranza nocturna (ha)	Áreas grandes, poca pendiente	Q0	1	Q0

Nota: Ciclo largo: principalmente en el altiplano de Guatemala el ciclo de maíz dura nueve meses. Ciclo corto: principalmente en la costa sur, el norte y oriente de Guatemala, el ciclo del maíz dura 4 meses.

En la Figura 7, se presentan los costos para realizar estas prácticas de adaptación. El método más costoso es surcos en contra de la pendiente (en lugares templados y fríos) y

utilizar materiales tolerantes a sequía (en lugares cálidos); la de menor costo es realizar labranza nocturna y uso de drenajes. Esta información de costos no toma en cuenta el resto de inversión que se realiza (procedimiento normal) para cosechar maíz (preparación del terreno, fumigación, fertilización, entre otra).



Figura 7. Costos por establecimiento de prácticas por un ciclo de maíz

A continuación, se presentan los costos para cada una de las prácticas para ser implementadas.

2.8 No quema e incorporación de residuos

En el siguiente cuadro se presentan desglosados los costos para realizar esta práctica de adaptación. En la Figura 7 se muestra cómo queda la parcela luego de realizar la cosecha y dejar en el terreno los restos.

Cuadro 11. Costos para la implementación de la no quema e incorporación de rastrojo.

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No	Costo total
Picado de los residuos de cosecha*	Jornales	Q98	3	Q294
Costo total de la práctica				Q294
Observaciones: Dependiendo de cuánto residuo de cosecha se incorpore, se podría ir disminuyendo gradualmente la aplicación de fertilizantes. Se puede realizar de varias maneras: incorporado al suelo con la mecanización, dejarlo picado sobre la superficie o únicamente dejarlo sobre la base del tallo de la siguiente siembra sin picarlo.				

En la Figura 8 se muestra una parcela con el rastrojo que ha quedado de la cosecha anterior y preparada para ser incorporado en la nueva siembra, en la aldea Santa Mixtán, Nueva Concepción.



Figura 8. Rastrojo restante de la cosecha anterior.

Fuente: ICC, 2013

2.9 Sistemas agroforestales

En los sistemas agroforestales se pueden seleccionar una amplia variedad de especies de árboles para ser combinadas con maíz/frijol. Los precios variarán dependiendo de cuál se elija y con qué fin (forestal, frutal). A continuación, se presenta el desglose de estos costos, haciendo un aproximado que un árbol de cualquier especie tendría un valor de Q2.00.

Cuadro 12. Costos para la implementación de sistemas agroforestales

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No.	Costo total
Arboles forestales	Árbol	Q2	1,111	Q2,222
Trazado	Jornal	Q98	6	Q588
Trasplante	Árbol	Q1	1,111	Q1,111
Podas	Jornal	Q98	3	Q294
Encalado (cal y jornal)	Lb + Jornal	Q118	4	Q472
Costo total de la práctica				Q4,687
<p>Observaciones: El precio de los árboles puede variar en función del tipo de aprovechamiento forestal o frutal y la especie de cada uno. El tiempo compensa la inversión inicial, además de que acelera el crecimiento de los árboles. En base a la especie se planificará también el manejo de la plantación y si sembrará maíz o frijol.</p>				

En la Figura 9, se muestra el sistema Quesungual (conocido también como Kuxurúm) que es un sistema de producción para agricultores de pequeña escala que reúne un grupo de técnicas para el manejo sostenible de la vegetación, el suelo y los recursos hídricos en zonas de ladera con tendencia a sequía. En la figura se presenta un asocio de frijol forrajero junto a madre cacao (*Gliricidia sepium*).



Figura 9. Sistema agroforestal Kuxurúm en Oriente.

Fuente: FAO.

2.10 Cosecha y almacenamiento de agua de lluvia

Se propone realizar esta práctica de la manera más sencilla (de acuerdo con la propuesta de Red SICTA, 2012): mediante una poza de captación, donde únicamente es necesaria la elaboración de un agujero en el suelo y poner sobre él un pedazo de nylon (polietileno). Estos costos se desglosan en el Cuadro 13 para todo el ciclo. Los que están con asterisco son los costos directos.

Cuadro 13. Costos para la implementación de cosecha y almacenamiento de agua

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No	Costo total
Nylon (polietileno)	Yarda	Q9	5	Q45
Pala	Unidad	Q30	1	Q30
Mano de obra	Jornal	Q98	2	Q196
Costo total				Q271
Observaciones: El costo de la poza de cosecha y almacenamiento puede aumentar o disminuir, en base al volumen de agua que se necesite cosechar y almacenar, en función del área de cosecha. La durabilidad de este método es de 1 año.				

En la Figura 10 se muestra la poza de captación de agua de lluvia, la cual no abarca un área muy extensa y no requiere mayor trabajo.



Figura 10. Captación de agua de lluvia con plástico.

Fuente: Red SICTA, 2012.

2.11 Silos de agua/lluvia sólida (poliacrilato de potasio)

Para la implementación de esta práctica, se ha tomado en cuenta únicamente el costo inicial donde se considera la compra del producto (Silos de Agua, S.A.) de origen mexicano.

Cuadro 14. Costos para la implementación de lluvia sólida

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No.	Costo total
Poliacrilato de potasio	Ciclo	Q5,985	1	Q5,985
Preparación del terreno	Arado, rastra y surqueo	Q930	1	Q930
Aplicación del producto	Jornal	Q98	10	Q980
				Q7,895
Observaciones: Los costos están calculados en base a la duración del poliacrilato de potasio en el suelo (7 años). Y el costo del jornal es una inversión para el primer ciclo.				

En la Figura 11 se muestra cómo fue incorporada la lluvia sólida en una parcela experimental en La Máquina (centro 1). En este caso se aplicó antes de sembrar. Este material mejora la retención del agua en el suelo y proveerá a las plantas y cultivos de un suplemento regular de humedad evitando el estrés hídrico.



Figura 11. Surcos de parcela (previo a ser sembrada) con lluvia sólida.

2.12 Terrazas/acequias

Para la elaboración de terrazas, se ha tomado en cuenta desde la elaboración de las curvas a nivel. Se han propuesto las actividades desde la adquisición del “nivel tipo A”, así como las actividades del trazado, la elaboración y una fase de mantenimiento de los surcos. También, se propone el establecimiento de barreras vivas en la parte superior de las

terrazas. Es importante recalcar que el costo de las terrazas variará dependiendo de la pendiente del terreno, y el cálculo de cuántas deben ser construidas.

Cuadro 15. Costos para la implementación de terrazas o acequias en el altiplano.

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No.	Costo total
Nivel tipo "A"	Unidad	Q100	1	Q100
Trazado	Jornal	Q98	6	Q588
Elaboración de terrazas	Jornal	Q98	100	Q9,800
Barreras vivas	Jornal	Q98	20	Q1,960
Mantenimiento de terrazas o acequias	Jornal	Q98	20	Q1,960
Costo total de la práctica				Q14,408
Observaciones: Los costos son para una hectárea en el altiplano.				

En la Figura 12 se muestra la construcción de las terrazas en la aldea Paquim, Nahualá, Sololá.



Figura 12. Construcción de terrazas en Nahualá, Sololá.

Fuente: ICC, 2013.

2.13 Surcos en contra de la pendiente (surqueado)

En esta sección se ha tomado en cuenta desde la elaboración de las curvas a nivel, por lo que se toman en cuenta las actividades de adquisición del “nivel tipo A”, las actividades del trazado, la elaboración y una fase de mantenimiento de los surcos. En el Cuadro 16 se presenta el listado general de los costos para la implementación de esta práctica en todo el ciclo del cultivo.

Cuadro 16. Costos para la implementación de surcos en contra de la pendiente.

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No.	Costo total
Nivel tipo "A"	Unidad	Q100	1	Q100
Trazado de la curva a nivel guía	Jornal	Q98	3	Q294
Elaboración	Jornal	Q98	10	Q980
Mantenimiento	Jornal	Q98	3	Q294
Costo total de la práctica				Q1,668
Observaciones: Varía la cantidad de surcos en función de la pendiente del terreno.				

En la Figura 13 se muestra un terreno en el cual se realizaron surcos en contra de la pendiente en Nahualá, Sololá.



Figura 13. Surcos en contra de la pendiente en área de Nahualá.

Foto: ICC, 2013.

2.14 Labranza mínima

Realizar esta práctica tiene un costo de Q496 e involucra el picado del rastrojo, el paso de rastra y surqueado durante cada ciclo del cultivo (Cuadro 17).

Cuadro 17. Costos para la implementación de labranza mínima

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No.	Costo total
Paso de rastra y surqueado	Ha	Q300	1	Q300
Incorporación de rastrojo	Jornal	Q98	2	Q196
Costo total de la práctica				Q496
Recomendación: realizarla después de las 5 de la tarde.				

2.15 Labranza nocturna

La implementación de esta práctica no representa ningún costo adicional. Sus ventajas radican en reducir la pérdida de humedad del suelo por evaporación, que es lo que sucede con una labranza convencional en horarios diurnos. Esta usualmente se realiza durante el día, donde el suelo está directamente afectado por los rayos del sol.

2.16 Asocio de cultivos (maíz-frijol)

Para desarrollar esta práctica, se ha considerado únicamente el asocio entre maíz y frijol, para lo cual se describen en el Cuadro 18 las actividades a realizar que van desde la preparación del terreno, hasta la adquisición de la semilla de cada cultivo. De igual forma, los costos van a estar sujetos al cultivo que se quiera asociar con cualquiera de estos, que en este caso sólo contempla maíz y frijol.

Cuadro 18. Costos para la implementación del asocio de cultivos entre maíz y frijol

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No.	Costo total
Semilla de maíz	Semillas	Q0.00	6,000	Q0.0
Semilla de frijol*	libras	Q6.50	25	Q162.5
Siembra	Jornales	Q98.00	3	Q294.0
				Q456.5
El costo de la semilla es cero debido a que son agricultores que no compran semilla de maíz y usan sus propias semillas.				

En la Figura 14, se presenta una fotografía de una parcela en Ipala, Chiquimula. En la parcela, el agricultor utiliza el asocio de maíz criollo con frijol criollo. Adicionalmente, realiza la siembra utilizando abonos orgánicos y no quema el rastrojo.



Figura 14. Asocio de maíz y frijol, parcela en Ipala, Chiquimula.

Foto: ICC, 2013.

2.17 Uso de materiales tolerantes a sequía

En el tema de materiales tolerantes, se pueden tomar en cuenta tanto los híbridos de las casas comerciales, así como las distintas variedades existentes en el mercado. Dentro de la primera clasificación se encuentran: HR 245, HRQ 596, DK 390 y Pioneer 8042; de las variedades se pueden mencionar ICTA LM 7422, ICTA B7, entre otros. En el Cuadro 19. Costos para la implementación del uso de materiales tolerantes a sequía se presenta el desglose de costos utilizando materiales tolerantes a sequía en el ciclo del cultivo.

Cuadro 19. Costos para la implementación del uso de materiales tolerantes a sequía

Descripción	Dimensional	Costo	No.	Costo total
Semilla de maíz tolerante a sequía	Bolsa de 60,000 semillas	Q1,200.00	1	Q1,200.00
Costo total de la práctica				Q1,200.00
Este costo puede variar en función del híbrido o variedad que se utilice, incluso puede ser cero si el agricultor utiliza semilla de alguna variedad de la cosecha anterior.				

2.18 Drenajes

Para realizar la práctica de drenajes, la planificación de costos se ha hecho para un terreno donde se necesitará extraer aproximadamente 20 m³. Es importante tomar en cuenta que para implementarla hay que considerar varios factores del terreno, como la pendiente, el área, y la precipitación que cae en el área. En el Cuadro 20 se presentan los costos para esta práctica.

Cuadro 20. Costos para la implementación de drenajes

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No.	Costo total
Drenajes en función del terreno	Metro cúbico	Q40.00	20	Q800.00
Costos de la práctica				Q800.00
El costo puede variar en función de las dimensiones del drenaje				

2.19 Monitoreo de la precipitación

Para realizar esta práctica, se propone una estación semiautomática para medir las variables. Acá se muestran el desglose de costos para realizar el monitoreo.

Cuadro 21. Costos para implementación del monitoreo de la precipitación

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No.	Costo total
Estación semiautomática	unidad	Q15,000.00	1	Q15,000.00
				Q15,000.00
Una estación meteorológica puede cubrir aproximadamente 12,500 hectáreas, esto según lo que maneja el ICC.				

2.20 Uso de camellones

Los camellones de tierra tienen la finalidad de reducir la escorrentía de agua en terrenos con pendientes suaves a moderadas. En esta práctica, pueden variar los costos dependiendo de la elección de cómo se realizará, en forma de arado (en áreas pequeñas) o mecanizada. En el Cuadro 22, el costo de la práctica está en base a una construcción mecanizada, la cual ahorra mano de obra y herramientas. Es importante construir los montículos de tierra, o de tierra y piedras a nivel o a desnivel. La distancia entre bordes depende de la pendiente y de factores climáticos y del suelo.

Cuadro 22. Costos para la implementación de camellones.

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No.	Costo total
Construcción de camellones	Maquinaria	Q300.00	1	Q350.00
Costo total de la práctica				Q350.00

2.21 Aporque

Esta actividad se puede lograr de manera mecanizada o manual. Cuando es mecanizada se utiliza un tractor y una cultivadora, lo que también contribuye al control de malezas. De forma manual se utiliza un azadón y se remueve el suelo en el entresurco y se deposita sobre el surco.

Cuadro 23. Costos para la implementación del aporque.

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No.	Costo total
Aporque (ha)	Jornal	Q98.00	3	Q294.00
Costo total de la práctica				Q294.00

2.22 Cortinas rompevientos

Para la implementación de esta práctica, que tiene resultados a largo plazo, los costos dependerán principalmente de la especie de árbol que se utilice para establecer las cortinas rompevientos. En el Cuadro 24, se presenta el desglose de costos para el establecimiento de cortinas rompevientos; se presenta en general que cualquier árbol a elegir tendrá un costo unitario de Q.2.00.

Cuadro 24. Costos para la implementación de cortinas rompevientos.

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No.	Costo total
Árboles para las cortinas rompevientos	Árbol	Q2.00	800	Q1,600.00
Trazado	Jornal	Q98.00	4	Q392.00
Trasplante	Árbol	Q1.00	800	Q800.00
Manejo de podas	Jornal	Q98.00	4	Q392.00
Encalado (cal + jornal)	Lb + Jornal	Q118.00	4	Q472.00
Costo total de la práctica				Q3,656.00

2.23 Manejo post-cosecha

Para el manejo posterior a obtener la cosecha se ha promovido la utilización de la “Caseta de mejorada de secado”, promovida por Red SICTA (2012). Se presenta la realización de una cosecha oportuna, y al momento de la madurez fisiológica combinarla con el secado de mazorcas, en una caseta que utiliza como recurso el viento. En el Cuadro 25, se presenta el desglose de las actividades para el manejo post-cosecha donde están incluidos los costos de esta caseta mejorada, y se presupuestan silos con capacidad de 30 quintales, donde se almacenará la cosecha luego de haber sido secada.

Cuadro 25. Costos para la implementación del manejo post cosecha del cultivo.

Descripción	Dimensional	Costo Unitario	No.	Costo total
Caseta de secado de maíz	Caseta	Q1,170.00	1	Q1,170.00
Silo de maíz (para 30 quintales)	Silo	Q1,200.00	1	Q1,200.00
Mano de obra manejo pos-cosecha	Jornal	Q98.00	5	Q490.00
Costo total de la práctica				Q2,860.00

En la Figura 15 se presenta la caseta mejorada de secado realizada durante el diplomado en el área del Centro 1, Parcelamiento La Máquina (Cuyotenango). Una de las ventajas de esta caseta es que se puede realizar con cualquier material de construcción. En este caso se realizó con varas de bambú, así como ramas delgadas de eucalipto y se cubrió con un pedazo de lámina (en la parte superior).



Figura 15. Caseta mejorada para el secado de maíz.

3 Bibliografía

Adger, Neil, Nigel Arnell & Emma Tompkins. 2005. Successful adaptation to climate change across scales. *Global Environmental Change* 15 (2005) 77–86.

Aguirre, A. (en línea) 2010. Maíz criollo frente a híbridos: estudios en México a favor del maíz criollo. Consultado el 24 de abril de 2013. Disponible en: <http://www.hortalizas.com/articulo/19963/maiz-criollo-frente-a-hibridos>

Aldana, O. 1983. Evaluación de cinco variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris*) y su transferencia de tecnología a partir de ensayos de finca, en la aldea San Jorge, Zacapa. Informe final de Práctica Supervisada. Universidad de San Carlos de Guatemala – Centro Universitario de Oriente (CUNORI). 23p.

Alfaro, G. 2013. Comunicación personal. Gestión de riesgos y sistema de alerta temprana. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. Coordinador del programa de Gestión de Riesgos del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC-

Aqua Warehouses (Silos de agua). 2009. Aqua Warehouses, guarda y ahorra el agua cuando la necesites. Manual de uso del producto. 46p.

Aylward, B. 2004. Land use, hydrological function and economic valuation. *Forests, water and people in the humid tropics*. Cambridge University Press. US. 925p.

Baethgen, Walter. 2013. Cambio climático y Variabilidad climática: Gestión de Riesgos. International Research Institute for Climate and Society, Columbia University. Ponencia en el Taller Nacional sobre Meteorología y Agricultura. Ciudad de Guatemala, mayo 2013.

Bosch, JM; Hewlett, JD. 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *J. Hydrol.*, 55: 3-23.

Bosques tropicales. Consultado en línea el 23 de abril del 2013. Disponible en: <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/ecologia/Descriptiva/BosqueTro1/Resumen1/Resumen1.html>

Boyer, J.S. 1982. Plant productivity and environment. *Science*. 218:443-448.

Brooks, Nick. 2003. Vulnerability, Risk and Adaptation: A conceptual framework. Norwich: Tyndall Centre for Climate Change Research. Working Paper 38.

Cámara Nacional de Maíz Industrializado (en línea). 2011. "Lluvia sólida", solución a la sequía en el campo. Noticias, México. Consultado el 20 abril de 2013. Disponible en: <https://cnmaiz.wordpress.com/2012/06/page/2/>

Campos, H.; Cooper, M; Edmeades, G et al. 2006. Changes in drought tolerance in maize associated with fifty years of breeding for yield in the U.S. Corn Belt. *Maydica*. 51:369-381.

Ceibal (en línea). 2013. Diversidad genética. Consultado el 28 de mayo de 2013. Disponible en: http://www.peruecologico.com.pe/lib_c21_t02.htm

CEPAL, 2010: Guatemala: Efecto del cambio climático sobre la agricultura. Mora, J.; Ramírez, D.; Ordaz, J.; Acosta, A.; Serna, B. Sede subregional México.

CIAT, Centro de Investigación de Agronomía Tropical. Giraldo, G. Barreras rompevientos. 6 pag. Consultado en línea el 25 de abril de 2013 en el sitio http://teca.fao.org/sites/default/files/technology_files/BARRERAS%20ROMPEVIENTOS.pdf .

Chan S., M. Métodos de almacenamiento del agua: Un elemento clave para la adaptación al cambio climático. 2012. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC). Guatemala. 59 p.

CPI (2012). Climate Finance Flows. Climate Policy Initiative. Consultado el 31 de julio de 2013 en <http://climatepolicyinitiative.org/wp-content/interactive/Landscape-Finance/finance-landscape.html?gclid=CKG5zPLr3LgCFSdk7AodsGoASg#>

Cruz, R. Drenajes. En: CENICAÑA. El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali, CENICAÑA, 1995. P.211-233.

Dirección General de Protección Civil y Emergencias (Gobierno de España – en línea). 2011. Presentación de vientos fuertes. Consultado el 29 de mayo de 2013. Disponible en: <http://www.proteccioncivil.org/vientos-fuertes>

Fernández, L.; Navarro, E. 2005. Sistemas agroforestales Quesungual. Una opción para el manejo de suelo en zonas secas de ladera. FAO, Honduras. 2005.

Gálvez, H. Planificación y diseño de los sistemas de drenaje sanitario y pluvial de la cabecera municipal de Pasaco, Jutiapa. 2004. Guatemala. 84 p.

Gamboa, H.; Gómez, W.; Ibrahim, M. 2008. Sistema agroforestal Quesungual: una buena práctica de adaptación al cambio climático. Capítulo 3. Consultado en línea el 24 de abril 2013 en el sitio <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A3824e/A3824e.pdf>.

Gutiérrez, HL. 2000. Evaluación del efecto de niveles de nitrógeno y gallinaza sobre el rendimiento de grano en dos cultivares de maíz (*Zea mays* L.), en la aldea las Trojes, Amatitlán. Guatemala.

Hsiao, T.C. 1973. Plant responses to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*. 24:519-570.

Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá (IDIAP, Panamá). 1997. Manejo integrado del cultivo de frijol común o poroto (*Phaseolus vulgaris* L.) en el sistema de mínima labranza (en línea). Consultado el 23 de marzo de 2013. Disponible en: <http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/idiap/cultivofrijol1.pdf>

Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC, Guatemala). 2013. Memoria del Primer Taller "Hacia una producción de maíz y frijol adaptada al cambio climático". Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. 31p.

ICC, GCAP y Grupo Laera. 2013. Recomendación sobre acciones de adaptación al cambio climático en Guatemala. Estudio elaborado para USAID/Guatemala por el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), el Global Climate Adaptation Partnership (GCAP) y Grupo Laera. 37p.

ICC, GCAP y Grupo Laera. 2012. Vulnerabilidad al Cambio Climático en Guatemala: Síntesis del conocimiento existente. Estudio elaborado para USAID/Guatemala por el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), el Global Climate Adaptation Partnership (GCAP) y Grupo Laera. 17p.

Instituto Tecnológico Superior de Calkiní (ITESCAM, México). 2013. Cultivos básicos (en línea). Estado de Campeche, México. Consultado el 25 de marzo de 2013. Disponible en: https://www.google.com.gt/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CC4QFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.itescam.edu.mx%2Fprincipal%2Fsylabus%2Fpdb%2Frecursos%2Fr2206.DOC&ei=YbdQUZyXE4_I9QT_4HQDw&usq=AFQjCNGkugkfdZ4nxJpquKEhvfMQmKDaCg&sig2=z0Zlmevv-AlkxNdAG64Tg&bvm=bv.44158598,d.eWU&cad=rja

IPCC. 2007. "Summary for Policymakers". En "Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change". (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H.L. Miller, eds.). Cambridge University Press, Cambridge y Nueva York.

Junta de Castilla y León. 2013. Conferencia regional del agua: descontaminación y uso racional del agua - conclusiones. Consultado en línea el 24 de abril del 2013. Disponible en: <http://www3.unileon.es/agua/conferencia/conclusiones.htm>.

Lassig, J.; Palese, C. Cortinas forestales: Nuevos aspectos fluidodinámicos. Tercer congreso internacional de Salicáceas en Argentina. Universidad Nacional del Comahue – Facultad de ingeniería. Argentina. 17 p. Consultado en línea el 25 de abril del 2013. Disponible en el sitio: http://64.76.123.202/new/00/forestacion/archivos/biblioteca/Lassig_Palese_D.pdf.

Lluvia sólida. Consultado en línea el 12 de abril del 2013. Dirección <https://cnmaiz.wordpress.com/2012/06/page/2/>.

Lored, C. 2005. Prácticas para la conservación del suelo y agua en zonas áridas y semiáridas. INIFAP-CIRNE-Campo Experimental San Luis. Libro técnico No. 1. San Luis Potosí, México. 187p.

Maiti, RK; Wesche-Ebeling, P. 1998. Maize Science. P 132-133. Science Publishers, Inc. Enfield, New Hampshire, Estados Unidos.

McWilliams, D. 2002. Drought Strategies for Corn and Grain Sorghum. New Mexico State University <http://www.cahe.nmsu.edu> .

Mendieta L., M.; Rocha M., L. Sistemas agroforestales. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 2007. 12-14. 115p.

Meza S., R. 2003. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de investigación regional del noroeste (INIFIAP, México). Campo experimental todos santos. Importancia y prácticas de sistemas agroforestales. México. Trifoliar.

Mongil, J; Martínez, A. 2007. Técnicas de recolección de agua y de oasisificación para el desarrollo de la agricultura y la restauración forestal en regiones desfavorecidas. Cuadernos Geográficos, 40 (2007-1), p67-80.

NETAFIM (México). 2013. Mejores prácticas para el maíz (en línea). Consultado el 25 de marzo de 2013. Disponible en: <http://www.netafim-latinamerica.com/crop/corn/best-practice>

Organización de los Estados Americanos (OEA – en línea). 1991. Desastres, Planificación y Desarrollo: Manejo de Amenazas Naturales para Reducir los Daños. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales, Organización de los Estados Americanos con el Apoyo de la Oficina de Asistencia para Desastres en el Extranjero Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional. Consultado el 29 de mayo de 2013. Disponible en: <http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea57s/begin.htm#Contents>

_____ (en línea). 1987. Comisión Mixta de Cooperación Amazónica - Ecuatoriano - Colombiana - Plan de Ordenamiento y Manejo de las Cuencas de los Ríos San Miguel y Putumayo. Gobiernos de Colombia y Ecuador y la secretaria general de la OEA. Consultado el 29 de mayo de 2013. Disponible en: <http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea32s/begin.htm#Contents>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2010. Montes. Evaluación de los recursos forestales mundiales. Informe principal. 163. Roma, Italia. 346 p.

_____. 2010. Snyder, R.; Melo-Abreu, J. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Roma, Italia. 241 p. Volumen I. Serie sobre el medio ambiente y la gestión de los recursos naturales. Medio ambiente, cambio climático y bioenergía. Trad. J. Villar-Mir.

_____. 2013. Glosario: semillas, diversidad y desarrollo (en línea). Consultado el 27 de mayo de 2013. Disponible en: <http://www.fao.org/economic/esa/seed2d/glossary/es/>

Paliwal, RL et al. 2001. El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción (en línea). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 2001. Consultado el 25 de marzo de 2013. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/X7650S00.HTM>

PASOLAC (Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central). 1999. Guía Técnica de Conservación de Suelos y Agua: rastros. AC.-- 1a. ed. -- San Salvador, El Salvador: PASOLAC 2000. 222 p.

Pielke, Roger Jr, Gwyn Prins, Steve Rayner and Daniel Sarewitz. 2007. Lifting the taboo on adaptation. Nature 445 (2007) 597-598.

Plaza, C. 2011. Efectos de la temperatura sobre las plantas. Consultado en línea el 01 de octubre del 2,012. Disponible en: http://issuu.com/alkesita/docs/08_efecto_de_t_sobre_plantas

Pagiola, S et al. 2002. Selling forest environmental services. Earthscan Publications Ltd. USA. 299p.

Pérez, M; Avilán, L; Bracho, G (en línea). 2005. El viento y su incidencia en la producción agrícola: las cortinas rompevientos. Revista Digital del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Venezuela. Agrometeorología. CENIAP-INIA, Maracay. Consultado el 29 de mayo de 2013. Disponible en: http://sian.inia.gob.ve/repositorio/revistas_tec/ceniaphoy/articulos/n7/arti/perez_m/arti/perez_m.htm

PESA (Programa de la Seguridad Alimentaria y Nutricional). Fuentes, MR; van Etten, J; Ortega, A; Vivero, JL. 2005. Maíz para Guatemala: Propuesta para la Reactivación de la Cadena Agroalimentaria del Maíz Blanco y Amarillo, SERIE "PESA Investigación", n°1, FAO Guatemala, Guatemala, C.A.

Phillips, H.; Young, M. Agricultura sin laboreo: labranza cero. Traducido por Enrique Marchesi. Montevideo, Uruguay, Agropecuario hemisferio sur. 223p.

Porcile M., J.F. 2007. Cortinas rompevientos para cultivos cítricos. Cartillas de orientación. Bosques de servicio para la actividad agropecuaria.

Quijada, J. Uso de camellones en la siembra. Consultado en línea el 20 de mayo del 2013. Disponible en <http://www.redagricola.com/reportajes/hortalizas/los-beneficios-de-cultivar-sobre-camellones>

Quiroz, A.; Marín, D. 2005. Rendimiento en granos y eficiencia de una asociación maíz (*Zea mays*) y quinchoncho (*Cajanus cajan*) con o sin fertilización. Bioagro. Vol. 15. No. 2. Pag. 121-128. Venezuela.

REDLACH (Red Latinoamericana de Cooperación Técnica en Manejo Integrado de Cuencas Hidrográficas). 2009. Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas en un contexto de Prevención, Mitigación y Adaptación a los efectos del Cambio Climático. Revista Electrónica de la REDLACH. Número 1, Año 5. diciembre de 2009. 75p.

Red SICTA. 2012. Guía de cosecha temprana de maíz y secado en casetas mejoradas (en línea). Consultado el 23 de agosto de 2013. Disponible en: http://www.redsicta.org/pdf_files/guiaCosechaTempranaMaiz.pdf

_____. 2012. Poza de captación de agua de lluvia (en línea). Consultado el 23 de agosto de 2013. Disponible en: <http://www.redsicta.org/Innovaciones/pozaCaptacion.pdf>

_____. 2013. Frijol (en línea). Consultado el 26 de marzo de 2013. Disponible en: http://www.redsicta.org/rhizobium_Pdf/FRIJOL%20-%20ORIGEN.pdf

Rojas, Luis A. La labranza mínima como práctica de producción sostenible en granos básicos. *Agronomía Mesoamericana. Análisis y comentarios*. Costa Rica. 209-212 p.

Smit, B. and M. Skinner. 2002. Adaptation options in Agriculture to Climate Change: A typology. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 7: 85–114.

Smit, B., Burton, I., Klein, R.J.T., Wandel, J. 2000. An anatomy of adaptation to climate change and variability. *Climatic Change* 45, 223–251.

Taiz, L. 1991. Water balance of the plant. Pages 97 - 98. in *Plant Physiology*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Redwood City, California.

UNFCCC. 2013. Focus: Adaptation. United Nations Framework Convention on Climate Change. Consultado el 30 de julio de 2013 en <http://unfccc.int/focus/adaptation/items/6999.php>

Universidad Complutense de Madrid (en línea). 2013. Bosques tropicales. Consultado el 20 de abril de 2013. Disponible en: <http://pendientedemigracion.ucm.es/info/ecologia/Descriptiva/BosqueTro1/Resumen1/Resumen1.htm>

Universidad de Chile. Ventajas de la labranza mínima Consultado el 20 de abril de 2013. Disponible en: http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/lb/ciencias_agronomicas/villar04/parte11/02.html. 22-04-2013 .

Universidad de Granada (en línea). 2013. Erosión hídrica: conceptos. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada, España. Unidad docente e investigadora de la Facultad de Ciencias. Consultado el 28 de mayo de 2013. Disponible en: <http://edafologia.ugr.es/gestionsuelos/grupoa/tema2.pdf>

Universidad de León (en línea). 2013. I Congreso Regional del Agua: Conclusiones. Consultado el 15 de abril de 2013. Disponible en: <http://www3.unileon.es/agua/conferencia/conclusiones.htm>

Wallace, JS et al. 2004. The potential of agroforestry for sustainable land and water management in the book *Forests, water and people in the humid tropics*. *Forests, water and people in the humid tropics*. Cambridge University Press. US. 925p.

Westgate, ME; Otegui, ME; Andrade, FH. 2004. Physiology of the corn plant in Corn: Origin, History, Technology, and Production, C.W. Smith, J. Betran and E.C.A. Runge, (eds.) John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.



**Instituto Privado de Investigación
sobre Cambio Climático**

www.icc.org.gt