Liga Agrícola Industrial
de la Caña de Azúcar

Impacto de la lluvia y las Inundaciones sobre la Caña de Azúcar en Costa Rica

Marco Chaves Solera

2011

San José, Costa Rica
Octubre

Introducción

Con motivo del reciente incremento de las lluvias observado en prácticamente todo el país y que provocara importantes inundaciones en la zona de Guanacaste y el Pacífico Central, principalmente, en afección directa del sector agropecuario y muy particularmente sobre actividades como arroz, café y ganadería entre otros, provocando pérdidas estimadas hasta el momento en 17.000 millones de colones (Miranda 2011); surge de nuevo la vieja inquietud y preocupación en torno al efecto e impacto productivo que las lluvias pueden tener sobre las plantaciones comerciales de caña, proyectado hacia la cantidad y la calidad de la materia prima que será procesada en las fábricas de azúcar durante la próxima zafra.

El tema de las altas precipitaciones y la inundación de algunas zonas y localidades cañeras parece ser recurrente y reiterativo, motivo por el cual tampoco resulta extraño ni la verdad sorpresivo cuando el patrón tradicional de lluvia excede y desborda los límites permisibles de drenaje superficial e interno del suelo.

El problema con el agua se da no solo por la cantidad, intensidad y frecuencia de las lluvias, sino también por la época en que estas se presentan; esto por cuanto el evento se da durante los meses finales del año, es de esperar que el grado de saturación de los suelos se vea fuertemente incrementado, favoreciendo el anegamiento y hasta inundación de los suelos y la consecuente afección de las plantaciones de caña de azúcar cuando la lluvia es intensa y persistente.

Hay en todo esto varios asuntos de diversa naturaleza que considerar y analizar para poder interpretar y juzgar con mayor sentido de realidad y objetividad, lo que puede potencialmente acontecer cuando se dan fuertes precipitaciones en una plantación comercial de caña de azúcar, entre los cuales se tienen los siguientes:

- **La Lluvia**
- **La Infraestructura Existente**
- **El Suelo**
- **La Planta**

A) Lluvia

En relación con la lluvia podemos asegurar basados en los históricos de precipitación conocidos y disponibles en el país, que los patrones tradicionales se han modificado sustancialmente en los últimos años inducidos presuntamente por el cambio climático que de manera acelerada viene incuestionablemente aconteciendo en el orbe mundial.

1/ Ingeniero agrónomo Msc. Gerente. ***Departamento de Investigación y Extensión de la Caña de Azúcar (DIECA-LAICA)***, Costa Rica. E-mail: **mchavezs@laica.co.cr.** Teléfono (506) 2284-6066 / (506) 2284 6067 / Fax (506) 2223-0839.

El antecedente lluvioso dejo de ser una vía confiable para la correcta y segura toma de decisiones en la agricultura como ocurría antes, pues la certidumbre de las tendencias es cada vez menor, virtud de que como se anotó los cambios son evidentes y muy significativos en todos los sentidos, razón por la cual la base climática conocida dejó de ser confiable y por ello utilitaria para ese fin. Su empleo debe ser referencial.

Una valoración de la información lluviosa regional disponible demuestra que la distorsión de los patrones se da no apenas por el aumento de la precipitación sino también por su ausencia, en una variación explicada por la presencia fluctuante del fenómeno "Niño y Niña" cada vez más corta que genera una distorsión e impacto aún menos previsible. El tema ha sido bastante estudiado, analizado y comentado desde diferentes perspectivas virtud de su impacto destructivo sobre la infraestructura, la agricultura y la sociedad como un todo, por especialistas en la materia, entre los que pueden citarse los estudios de VILLALOBOS y RETANA (sf); RETANA (sf); RETANA *et al* (sf); IMN (2011).

Solo a manera de referencia, en el Cuadro 1 y la Figura 1 se anotan los valores promedio anual y en el Cuadro 2 y la Figura 2 los valores promedio mensual de precipitación de varias localidades productoras de caña destinada a la fabricación de azúcar, a partir de lo cual puede inferirse de manera genérica y sin entrar en mayores detalles lo siguiente:

a) Existen variaciones muy significativas entre regiones y localidades productoras de caña en cuanto a la cantidad de lluvia caída (mm), razón por la cual toda interpretación debe ser mediática y apegada estrictamente a la localidad, reconociendo inclusive la existencia de microclimas que inducen cambios muy pequeños y puntuales concebidos en la distancia entre los lugares. En otros casos las variaciones son altas, donde la zona de Los Chiles en la Región Norte es un buen ejemplo de ello, pues su promedio anual de lluvia es casi la mitad del prevaleciente en el resto de la región, ubicándose el lugar más en el patrón de lluvias de Guanacaste (Cuadro 2).
b) Hay una variación importante en el total de lluvia anual lo que evidencia la presencia del fenómeno y variación Niña-Niño, como se aprecia en la Figura 1.
c) Según región productora de caña y de acuerdo con la información presentada en el Cuadro 3, se tiene con base en el total de lluvia (mm) el siguiente orden descendente de lluvias: Zona Norte, Zona Sur, Valle Central, Zona Atlántica, Pacífico Central y Guanacaste.
d) Las regiones cañeras de la Zona Norte, la Zona Sur y el Valle Central destacan por su elevada precipitación, la cual supera los 3.000 mm anuales (Figura 1).
e) Por el contrario, la región de Guanacaste es la que menor precipitación presenta con lluvias próximas a los 2.000 mm anuales.
f) Una valoración de la precipitación empleando el criterio de Vertientes ratifica que la región Atlántica (Vertiente Caribe) es más lluviosa respecto a la Pacífica, como lo demuestran los Cuadros 5 y 6 y Figuras 3 y 4; los datos revelan un incremento entre 25-30%.

g) En orden descendente podríamos ubicar los meses en cuanto a cantidad de lluvia como sigue: Octubre, Setiembre, Junio, Agosto, Noviembre, Mayo, Julio, Diciembre, Enero, Abril, Febrero y marzo.
h) Los meses más secos del año varían entre Vertientes y Regiones, correspondiendo al periodo enero-abril en la Vertiente Pacífica y entre marzo-abril en la Vertiente Atlántica (Caribe) como se aprecia en las Figuras 3 y 4. El mes más seco del año en toda la región cañera nacional es marzo.
i) La reducción en la cantidad de lluvia precipitada en el mes de julio ya no es tan clara como en épocas pasadas.
j) La mayor precipitación se observa en los meses de junio, setiembre y octubre; en la Zona Sur el mes de noviembre resulta ser también muy importante (Figura 2).
k) Es de esperar que a partir de noviembre las cantidades de lluvia decaigan sistemática y significativamente; sin embargo, en la Vertiente Atlántica se mantienen altas hasta el mes de enero.
l) Es común observar que el componente intensidad ha aumentado manifestado por lluvias de más volumen de agua caídas en un tiempo menor, aún sin existir grandes variaciones en la cantidad total precipitada. En el Cuadro 2 se identifican intensidades de lluvia muy elevadas, como se demuestra en el mes de setiembre en 'COOPEVICTORIA (628 mm); como también en las Estaciones de la Zona Sur en el mes de noviembre en Volcán (756 mm), El Porvenir (643 mm) e Ingenio (621 mm).
m) En algunas localidades como son la Zona Norte y la Zona Sur se tiene que entre mayor proximidad a las áreas montañosas o boscosas mayor es por lo general la cantidad de lluvia verificada. Destaca en la primera región la gran diferencia entre Los Chiles en relación al resto de la zona.

B) Infraestructura

Es definitivo que si la infraestructura física de drenaje tanto natural como artificial no es la conveniente y necesaria el problema se agrava, esto independientemente de la cantidad de lluvia que caiga, sobre todo si la intensidad es elevada.

En el presente caso si la plantación de caña no cuenta con la infraestructura que permita el rápido y eficiente desagüe y salida de las aguas de lluvia, el anegamiento e inundación son inminentes. La relación entre lluvia caída y salida de las aguas debe ser desequilibrada a favor de las segundas para que ese efecto no se de.

El problema mayor acontece en localidades planas de baja pendiente (0-5%), zonas próximas a ríos o litorales marítimos, como también donde el nivel freático es alto, lo que se agrava aún más si la condición textural de los suelos es de baja y limitada permeabilidad natural. Las mareas ejercen igualmente un impacto determinante en todo este asunto, al impedir por efecto de "llenado" la rápida y eficiente evacuación de aguas de ríos, riachuelos y conductores de agua al mar; tal como acontece por ejemplo con el río Tempisque en la región Guanacasteca en estado de marea alta, lo que provoca un llenado que parte desde su desembocadura hacia atrás que desborda las aguas en sus laterales

provocando la inundación. A eso se suma el impedimento de otros conductores tributarios a ese río como por ejemplo los ríos Las Palmas y Río Cañas, ubicadas en el área de influencia de los cantones de Carrillo y Santa Cruz. Igual acontece con el Río Bebedero en la zona de Cañas. Hay que reconocer que algunas labores importantes de dragado se vienen realizando particularmente en varios de los ríos de la zona oeste de Guanacaste, pese a lo cual el problema persiste con sus lamentables consecuencias.

Es importante por lo anterior tener presente que la infraestructura de drenaje necesaria no se circunscribe apenas al ámbito de la finca o la localidad, sino que debe considerar toda el área por donde el agua hace su recorrido natural. Como se comprenderá esto vuelve la situación poco o nada controlable para la mayoría de productores, por más esfuerzo de inversión en infraestructura y acondicionamiento de plantaciones que se haga a nivel de finca, lo cual sin embargo hay que reconocer que bastante ayuda.

C) El Suelo

El suelo como substrato sobre el cual está anclada la planta y donde se deposita, permanece y escurre el agua de lluvia resulta ser un elemento determinante y decisorio en la capacidad de drenaje y/o inundación de una plantación de caña.

En lo concerniente al suelo hay varios factores que intervienen de manera directa e indirecta entre los cuales se tienen más relevantes los siguientes:

- **Relieve**
- **Grado de Pendiente**
- **Cobertura Vegetal (Contenido de Materia Orgánica)**
- **Textura**
- **Estructura**
- **Profundidad Efectiva**
- **Grado de Compactación**
- **Grado de Pedregocidad**

El **Relieve** nos proporciona un criterio general y apenas aproximado de las características de un determinado terreno, por lo que lo podemos calificar por ello apenas como: Plano, Ondulado o Quebrado.

Una calificación más detallada del relieve permite valorar con base en el **Grado de Pendiente (%)** prevaleciente y que nos da un mejor criterio, la cual es definida como el grado de declive existente o la relación que se da entre las distancias vertical y horizontal de dos puntos medido en porcentaje. CUBERO FERNÁNDEZ (2001) establece las siguientes siete categorías para clasificar e interpretar este indicador: 1) Plano o casi plano (0-3%); 2) Ligeramente ondulado (3-8%); 3) Moderadamente ondulado (8-15%); 4) Ondulado (15-30%); 5) Fuertemente ondulado (30-50%); 6) Escarpado (50-75%) y 7) Fuertemente escarpado (más de 75%).

En cuanto a la **Cobertura Vegetal** que en el caso particular de la caña de azúcar es importante conocerla pues interesa sobre todo procurar elevar el Contenido de **Materia Orgánica (MO)** en el suelo; sabemos que la misma se refiere mayoritariamente a residuos vegetales de cosecha, malezas y el material depositado por el despaje de la planta de caña. La MO contribuye a reducir la escorrentía del agua y con ello el daño provocado por erosión y pérdida de la cobertura vegetal superficial, lo que inhibe a su vez en algún grado que el agua tome velocidad y provoque daño a la cepa de caña causando arranque y/o volcamiento de la planta. También contribuye al mejoramiento de la física del suelo con la **agregación** de las partículas que favorecen la infiltración y percolación del agua en el interior del suelo. Lo deseable es tener contenidos altos de MO pues su aporte nutricional es también muy relevante.

La **Textura** referida a la proporción relativa de partículas finas determina a su vez el grado de infiltración, percolación y movimiento del agua tanto en la superficie como en el interior del suelo.

La textura del suelo considera la proporción relativa que existe entre los contenidos de partículas de diferente tamaño, esto es Arena (0,05-2,0 mm), Limo (0,002 y 0,05 mm) y Arcilla (< de 0,002 mm), con lo cual se determina a su vez la porosidad, el área superficial disponible para la velocidad de absorción y movimiento del aire y el agua en el suelo; además de otras propiedades vinculadas con la fertilidad y la nutrición. En consecuencia, puede asegurarse que la velocidad de entrada y capacidad de suministro de agua, la aireación, la erosión y la fertilidad del suelo están directa y estrechamente relacionadas con esta característica.

Las categorías texturales son de acuerdo con CUBERO (2001) las siguientes: 1) Gruesa: arenosa, arenosa franco gruesa y media; 2) Moderadamente Gruesa: arenosa franco fina, franco arenosa media y gruesa; 3) Mediana: franco arenosa fina, franca, franco limosa, limosa; 4) Moderadamente Fina: franco arcillosa, franco arcillo limosa, franco arcillo arenosa; 5) Fina: arcillosa (menos del 60%), arcillo arenosa y arcillo limosa y, 6) Muy Fina: arcillosa (más del 60% de arcilla). La presencia de macro y microporos está determinada por esta propiedad.

Una textura arenosa favorece la salida de las aguas por su alta macro porosidad y una arcillosa por el contrario la limita y hasta la impide, por lo cual es conveniente contar con una proporción adecuada de esas fracciones que proporcione una condición no extrema en ningún sentido. La textura arenosa en periodo seco o zonas de baja precipitación resulta igualmente contraproducente y hasta negativa.

Las arcillas poseen mayor superficie específica respecto a las arenas lo que favorece la compactación y retención de agua al haber más microporos.

La **Estructura** del suelo se refiere al nivel de agregación que este tenga lo que favorece al ser elevado, la aireación y movimiento del agua a través del perfil del suelo evitando la saturación.

La **Profundidad Efectiva** del suelo es importante pues se refiere al grosor de las capas (u horizontes) del suelo y subsuelo que corresponde a la zona de exploración de las raíces en búsqueda de agua, nutrimentos y anclaje. Un suelo profundo con textura adecuada asegura un buen sostén a la planta y con ello ofrece resistencia a la fuerza ejercida por el agua en casos de anegamiento o inundación. Según CUBERO (2001) las categorías de suelo para este indicador son: 1) Muy Profundo (más de 120 cm); 2) Profundo (de 90 a 120 cm); 3) Moderadamente Profundo (de 60 a 90 cm); 4) Poco Profundo (de 30 a 60 cm) y 5) Superficial (< 30 cm).

La **Compactación** del suelo es una característica poco deseable para la agricultura y por desgracia presente en la actividad cañera hasta donde se ha podido constatar e inferir a partir de resultados de campo, puesto que cuando se realiza la práctica de subsoleo para descompactar capas internas y superficiales, el resultado productivo es positivo y productivamente muy sobresaliente. Este problema puede ser natural o inducido por causa del mal manejo de las plantaciones. En suelos del orden Vertisol el problema es mayor virtud de sus características y propiedades texturales.

La alta compactación provoca baja infiltración de agua por lo que favorece la escorrentía superficial y el consecuente daño de la planta, la cual es de suponer ofrece muy poca resistencia al volcamiento y arranque favorecida por su mal anclaje. En un suelo bien estructurado el paso y movimiento del agua se hace más fácil; si este es malo ocurre retención del agua debido a la compactación.

La presencia de piedras o rocas conocida como **Pedregocidad** interfiere directamente y de manera negativa sobre las prácticas de manejo y laboreo agrícola, el crecimiento de raíces y el movimiento del agua en el suelo.

El O**rden Taxonómico** del suelo es importante conocerlo pues incorpora y permite interpretar la presencia de algunas características vinculadas con estas y otras propiedades asociadas al manejo agronómico de plantaciones comerciales de caña. El solo hecho de saber que un determinado suelo es taxonómicamente clasificado según criterio del USDA por ejemplo como Molisol, Inceptisol, Entisol, Ultisol o Vertisol, ya evidencia y caracteriza el tipo de substrato en valoración.

D) La Planta

En el presente caso, la planta de caña resulta ser el factor importante y más afectado por el agua, esto pese a ser considerada una planta muy especial y tolerante a las condiciones estresantes extremas en cuenta la inundación, razón por la cual es importante conocer y comentar algo de sus características, propiedades y atributos naturales, las cuales le proveen una capacidad de “aguante y resistencia” muy superior al de otras plantas.

La Caña de Azúcar es una planta tolerante a condiciones de estrés extremo.

De acuerdo con el criterio bien fundamentado de CHAVES SOLERA (1988, 2008) y MONTENEGRO y CHAVES (2009, 2011), a la caña de azúcar *"se le considera una planta excepcional entre las plantas de uso comercial en consideración de poseer varias ventajas y atributos de índole anatómico y fisiológico que la tipifican y caracterizan, entre las cuales pueden citarse como sobresalientes las siguientes:*

1) *Dispone de un elevado Índice de Área Foliar (IAF ≈ 4-12 m^2/m^{-2}) asimilador de luz que favorece y hace más eficiente la absorción de radiación solar (BARBIERI 1993).*
2) *Produce una gran cantidad de Materia Orgánica la cual reside en su alta Tasa de Fotosíntesis por unidad de superficie de terreno, que es influenciada a su vez por su alto IAF. Su producción máxima teórica de Materia Seca se reporta en 280 TM/ha/año.*
3) *La disposición vertical de sus hojas durante gran parte de su periodo de crecimiento, contribuye significativamente con los puntos anteriores.*
4) *Fotosintéticamente es una planta altamente eficiente que pertenece al grupo privilegiado de las Ciclo C_4 (Vía Ácido Dicarboxilico).*
5) *Posee estructuralmente dos juegos de cloroplastos (Células del Mesófilo y Células de la Vaina Vascular) que promueven su alta eficiencia fotosintética en la captura y uso del CO_2, la cual se da por dos vías: a) Vía Normal C_3 de Calvin y, b) Vía alternativa C_4.*
6) *Es capaz de incrementar su Tasa Fotosintética por aumento de la luminosidad, por lo que califica como una planta típicamente de sol y de luz.*
7) *Posee un alto Punto de Saturación de Luz estimado en 6,5 a 150 Klux (≈ 65 a 1.500 Wm^{-2}).*

8) *Posee un alto Punto de Compensación lo que le permite alcanzar altos valores de fijación de CO_2, lo que corresponde a eficiencias del 5-6% de conversión de energía solar.*

9) *Su velocidad de Fotosíntesis es cerca de 2-3 veces superior al de las gramíneas del tipo C_3, presentando una capacidad fotosintética estimada en 100 mg de $CO_2/dm^2/hr$.*

10) *Tolera condiciones extremas (altas y bajas) de temperatura. Se reporta alta tolerancia a temperaturas extremas de hasta 47°C y capacidad productiva, siempre que se utilice riego eficiente. Se estima que los 27°C constituyen la óptima para absorción de nutrimentos, por cuanto temperaturas debajo de 21°C retardan el crecimiento de las raíces, el cual se paraliza a los 10°C.*

11) *Tolera como está demostrado una condición hídrica extrema por varios días consecutivos (sequía, inundación).*

12) *Tiene capacidad y ventaja de poder fotosintetizar con los Estomas prácticamente cerrados, lo que duplica su eficiencia en el uso del agua y su transpiración relativa, en comparación con otras gramíneas del tipo C_3.*

13) *No posee Respiración Aparente por lo que no "desperdicia energía metabólica potencial".*

14) *Dispone de una enorme y reconocida capacidad para producir masa verde (Biomasa) compuesta fundamentalmente por almidones, azucares (Reductores y No Reductores), compuestos lignocelulósicos y agua.*

15) *Dispone de un poderoso sistema radicular compuesto de tres tipos de raíces diferentes: a) Superficiales-ramificadas y absorbentes, b) de Fijación más profundas y c) Cordones que profundizan hasta 6 m. que le dan una enorme capacidad de exploración (vertical, horizontal) en el suelo y con ello absorción nutricional y de agua.*

16) *Posee una rusticidad y capacidad de adaptación (climática, edáfica y de manejo) a toda prueba, tal como está suficientemente demostrado a nivel de uso comercial.*

17) *Sus elevados requerimientos nutricionales son satisfechos en alto grado virtud de sus ventajas (puntos N° 13 y 14) anotadas anteriormente. Este atributo resulta sin embargo contraproducente virtud de que "agota los suelos" cuando no son complementariamente convenientemente fertilizados.*

18) *Posee la capacidad demostrada de Fijar Nitrógeno Atmosférico, con aportes importantes a su nutrición.*

19) *Para uso pecuario la caña posee y mantiene en periodos secos valores nutritivos y energéticos importantes que le proveen una interesante potencial de uso forrajero.*

20) *Su condición de planta Perenne le permite generar materia prima por retoñamiento luego de cada corte, por lo que no requiere inversiones y siembras sucesivas, sólo mantenimiento.*

Los parámetros ambientales que afectan de manera más marcada e incidente la Bioconversión de Energía en la caña de azúcar, son: 1) Luz (intensidad y calidad); 2)

Concentración de CO_2; 3) Disponibilidad de agua; 4) Disponibilidad de nutrimentos, y 5) Temperatura, entre otras".

*En materia de constitución genética el Género **Saccharum** está representado básicamente por seis Especies, de las cuales cuatro son Domesticadas y dos se califican como Silvestres, cuyo componente cromosómico es el que se anota en el Cuadro adjunto:*

Caracterización Genética de la caña de azúcar

(Género Saccharum) según Especie.

N°	*Especie*	*Número Cromosómico (2n)*
1	*S. barberi*	*81 - 124*
2	*S. sinensis*	*111 - 120*
3	*S. edule*	*60 - 80*
4	*S. officinarum*	*80*
5	*S. spontaneum **	*40 - 128*
6	*S. robustum **	*60 - 80*
7	*Híbridos Comerciales*	*100 - 140*

** Especies Silvestres*

Como se infiere la caña de azúcar corresponde a un Poliploide (2n = 40-140) cuya Capacidad Combinatoria es muy elevada. Los Clones de Uso Comercial se ubican dentro del número cromosómico que va de 100 a 140. La estabilidad de sus características y atributos comerciales se ve favorecida por el hecho de reproducirse en forma clonal, lo que perpetúa las mismas. Es una planta Hermafrodita cuya flor es una Panícula (flor de flores).

La suma de todos esos atributos y propiedades hacen de la caña una planta, como se indicó, verdaderamente excepcional y muy especial, lo que potencia y viabiliza su empleo pecuario".

Los argumentos anteriores demuestran fehacientemente y de manera contundente la excepcionabilidad de la planta de caña de azúcar virtud de sus atributos genéticos, estructurales, fisiológicos y metabólicos, lo que la diferencia de otras plantas de uso comercial y explica su reconocida gran capacidad de tolerancia y adaptabilidad a condiciones extremas de estrés donde otros cultivos no prosperan.

E) Drenaje del Suelo

El drenaje es definido por CUBERO FERNÁNDEZ (2001) como *"la rapidez con que el agua se desplaza, ya sea por escurrimiento superficial o por su movimiento a través del perfil hacia espacios subterráneos".*

Existen de acuerdo con el mismo autor seis categorías de drenaje, a saber:

- **Excesivo:** El agua se elimina del suelo rápidamente, ya sea porque posee texturas muy livianas, o bien pendientes escarpadas y expuestas (sin apreciable cobertura vegetal).
- **Moderadamente Excesivo:** El agua se elimina del suelo en forma moderadamente rápida. Muchos de estos suelos son de textura moderadamente liviana y/o de relieve ondulado.
- **Bueno:** El agua se elimina del suelo con facilidad pero no con rapidez. Los suelos bien drenados tienen comúnmente texturas medias. Sin embargo, suelos arcillosos con buena estructura pueden incluirse dentro de esta clase. El nivel freático se encuentra a profundidades mayores de 120 cm, y si aparecen moteos, estos están a más de 90 cm.
- **Moderadamente Lento:** En esta clase, el agua se elimina del suelo con cierta lentitud, de modo que el perfil permanece saturado (humedad excesiva) durante periodos cortos, pero apreciables. Los suelos de drenaje moderadamente lento, por lo general, tienen una permeabilidad lenta en el perfil, o un nivel freático relativamente alto (60-90 cm de profundidad) y con moteos después de 30 cm. Pueden aparecer ocasionalmente horizontes gleizados en el subsuelo.
- **Lento:** El agua se elimina del suelo con lentitud suficiente para mantenerlo saturado durante periodos muy apreciables de tiempo (3 a 6 meses). Los suelos de drenaje lento tienen usualmente un nivel freático alto entre 30 y 60 cm de profundidad, con moteos a menos de 30 cm, por lo que es normal que se presenten capas gleizadas en el subsuelo.
- **Muy Lento:** El agua se elimina tan despacio que el suelo permanece saturado por largos periodos de tiempo (6 a 9 meses al año). El nivel freático está por lo general cerca de la superficie del suelo (menos de 30 cm) durante una parte considerable del año y siempre con moteos usualmente desde la superficie.
- **Nulo:** El agua se elimina del suelo tan lentamente que la capa freática permanece en la superficie, o sobre ella, la mayor parte del tiempo (más de 9 meses al año). Estos suelos tienen alto hidromorfismo o gleización a través de todo el perfil.

Como se infiere de lo anotado anteriormente existen categorías muy diferentes de drenaje entre los suelos, que vienen en alto grado determinadas por los factores ya comentados. En todo esto el nivel de precipitación o suministro de agua que ingrese al sistema resulta fundamental para que exista una condición deficitaria o de exceso.

F) Inundación

Resulta entendible con base en lo señalado hasta el momento, que es relativamente fácil pasar de una condición de mal drenaje a una de inundación, lo cual está determinado en alto grado por el substrato (suelo), la cantidad de agua presente y la duración de la precipitación.

En esto tiene mucho que ver también la época del año puesto que si el incremento se da al final del periodo lluvioso ya los suelos tienen un elevado grado de saturación, por lo que su permeabilidad y capacidad de escurrimiento es muy limitada en el corto plazo, particularmente en las texturas más pesadas, motivo por el cual altas frecuencias con precipitaciones de alta intensidad es factible que provoquen inundación de las plantaciones. De acuerdo con los antecedentes conocidos las inundaciones ocurren por lo general en los meses de setiembre-octubre por las razones apuntadas.

CUBERO FERNÁNDEZ (2001) conceptualiza y describe la condición de riesgo de anegamiento o inundación, como la *"probabilidad y frecuencia de ocurrencia de un desborde de una corriente de agua fuera de su cauce normal, y que pone en peligro las áreas aledañas. El anegamiento también puede ser causado por el estancamiento de aguas en depresiones y llanuras, en especial sobre suelos con problemas de drenaje".*

El mismo autor clasifica el anegamiento o inundación en las siguientes categorías:

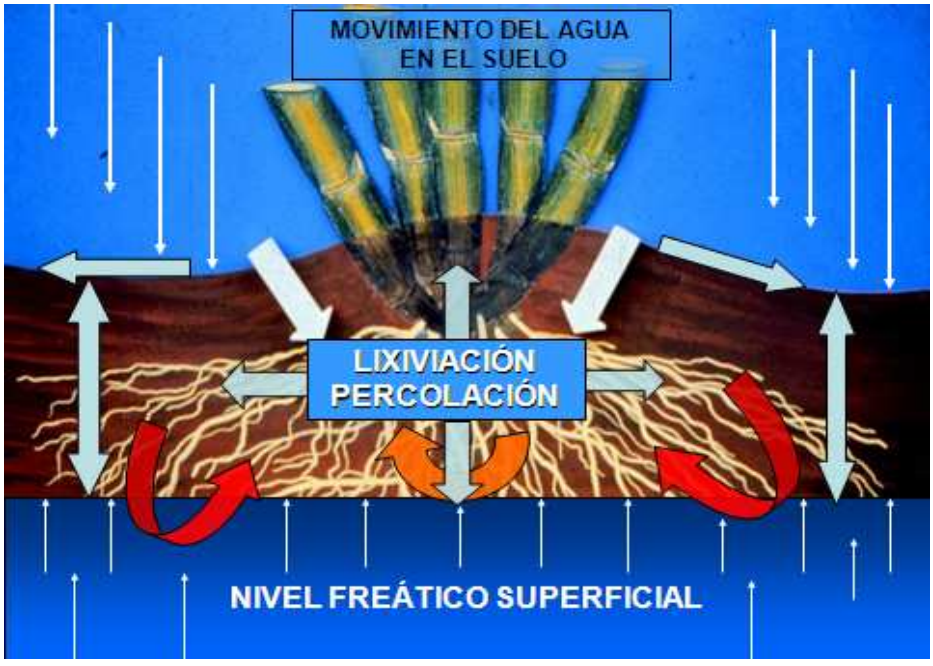
1. **Nulo:** Los suelos no presentan ningún riesgo de sufrir inundaciones.
2. **Leve:** Se presentan en forma ocasional y, por lo general, en años excepcionalmente lluviosos. Sin embargo, su permanencia no es mayor de una semana.
3. **Moderado:** Las inundaciones, por lo general, ocurren todos los años, pero su permanencia es inferior a dos semanas.
4. **Severo:** Las inundaciones ocurren varias veces al año y permanecen por periodos cortos (menos de dos semanas).

5. **Muy Severo:** Las inundaciones ocurren varias veces al año y por periodos mayores a dos semanas.

La **Permeabilidad** que es la capacidad de los suelos saturados de permitir el paso del agua, depende de la textura, la materia orgánica, la conductividad hidráulica, como también de otras propiedades físicas y químicas del mismo. Esta propiedad está directamente asociada y relacionada con problemas de riego, drenaje, almacenamiento de agua, escurrimiento superficial y erosión.

Una de las funciones básicas del suelo en la producción agrícola comercial es actuar como almacenador de agua, por lo que el agua retenida constituye el suministro de reserva para asegurar el desarrollo de las plantas. Dicha agua se localiza en los microporos y como una película fina alrededor de las partículas del suelo. Cuando existe en el suelo más agua de la que este puede retener contra la fuerza de la gravedad, esta agua (Agua Gravitacional) puede llenar los macro poros aunque solo temporalmente, ya que por lo general drena hacia abajo si este es permeable. El agua retenida luego de que la otra (gravitacional) ha drenado se conoce como Capacidad de Campo y es la que mayoritariamente utilizan las plantas.

Es importante tener presente que el movimiento del agua se da con mayor facilidad y velocidad en un suelo saturado, por cuanto los suelos en ese estado no retienen el agua como si ocurre en los insaturados por las fuerzas adhesivas que se dan entre el agua y el suelo; esto en asocio y complemento con las fuerzas cohesivas propias del agua. La saturación hace que todos los espacios (macro y microporos) estén ocupados por agua y no puede por tanto haber más retención.



Movimiento del Agua en el Suelo

Visualizando el suelo como una estructura columnar es de esperar con base en lo anterior, que en un suelo en estado de saturación la cantidad de agua que ingresa al suelo es la misma que sale, pues no existe retención alguna; esto es importante tenerlo presente como principio elemental para comprender la situación de un suelo en estado de inundación. El problema surge cuando la capacidad de evacuación interna del sistema es limitada, está impedida o el nivel freático es muy alto, pues el agua no puede salir y se da el efecto de llenado con las graves consecuencias conocidas.

G) Plantaciones de Caña Afectadas por Lluvias

Como se comprenderá el efecto e impacto de la lluvia resulta ser muy variable en consideración de que las condiciones naturales de las regiones productoras de caña para la fabricación de azúcar en el país son igualmente muy diferentes en cuanto a condiciones edáficas, de relieve, clima, infraestructura y manejo agronómico de las plantaciones, entre otras; a lo cual debe agregarse las cantidades de lluvia precipitada también variables.

Se adjunta para mejor comprensión un referente preliminar (Cuadro 3) que identifica las características dominantes del entorno productivo de cada región productora de caña de azúcar en Costa Rica, permitiendo comparar y comprobar las grandes diferencias que existen entre zonas y localidades en prácticamente todos los ámbitos. Esta realidad sumada a las diferencias mostradas en los Cuadros 1 y 2 en relación al patrón de lluvias prevaleciente en cada una de ellas, permite inferir que las consecuencias e impacto de las altas precipitaciones no son similares entre localidades, razón por la cual cualquier estimación, inferencia o conclusión que se proyecte efectuar en esta materia debe tener presente y considerar esta situación.

Resulta importante comprobar las significativas variaciones en cuanto a Relieve y Grado de Pendiente existente entre zonas productoras, lo que viene a ser determinante en los riesgos potenciales y reales de anegamiento e inundación, o en su caso, de afección en grado variable a las plantaciones y la infraestructura productiva existente.

Para mayor comprensión de los efectos potenciales se desagrega el análisis en los dos grandes sectores que enmarcan y recogen la experiencia nacional con este tema.

G.1) Pacífico Seco (Puntarenas + Guanacaste)

Las localidades productoras de caña más bajas han sido por tradición las más severamente afectadas por las lluvias, como lo demuestran los antecedentes de años anteriores, generando grandes daños e importantes pérdidas económicas a los productores y empresas afectadas. Es por ello importante analizar con mayor detalle esta particularidad, y revisar lo que acontece en la región del Pacífico Seco.

Los terrenos planos y ubicados en áreas bajas como predomina en esa región agrícola poco favorecen el drenaje, la evacuación y salida rápida de las aguas de los terrenos cultivados con caña de azúcar. El exceso de precipitación se ve además agravada por el hecho de encontrarse parte de las plantaciones muy próximas al nivel del mar (0-10 msnm) o al litoral de los ríos de la región, lo que se vincula y complementa con las propiedades físicas (características texturales) y naturaleza de los suelos predominantes en el lugar.

La topografía de los suelos cultivados con caña de azúcar en la zona baja del Pacífico Central y la región de Guanacaste, pueden clasificarse de acuerdo con su Grado de Pendiente, según CUBERO (2001), mayoritariamente como pertenecientes a las categorías de Plano o Casi Plano (0-3%), Ligeramente Ondulada (3-8%), con algunas áreas cultivadas también importantes de pendiente mayor en las localidades más altas de la región (Esparza, Montes de Oro, Aranjuez, Abangares, Bagaces, Cañas, etc.) Y clasificada como Moderadamente Ondulada (8-15%). La mayor parte de las plantaciones comerciales de los Ingenios El Palmar, Taboga, CATSA, El Viejo y su área de alimentación se ubican en altitudes inferiores a los 30 msnm.

En las zonas de deposición aluvial más reciente e inundación frecuente predominan los suelos Entisoles y particularmente los clasificados dentro del subgrupo como Fluvents los cuales no poseen desarrollo y definición de horizontes. En aquellas áreas donde la tabla de agua permanece próxima a la superficie (cercanas a la costa, ríos y áreas bajas) durante buena parte del año, el drenaje natural se ve impedido, clasificando como Aquents.

Los niveles freáticos de estas áreas son por lo común como se indicó, superficiales, por lo que los niveles de saturación por agua son relativamente fáciles de alcanzar y el agua de exceso difícil de eliminar en periodos cortos de tiempo volviendo el drenaje lento, muy lento e inclusive nulo (CUBERO 2001) por periodos variables de tiempo; esto según la condición particular de la finca, con el serio agravante productivo que ello implica para una plantación comercial de caña.

Asimismo, es conocido que buena parte de los suelos sembrados con caña en la región de Guanacaste pertenecen al orden taxonómico (según USDA) de los Vertisoles, que son suelos oscuros con un perfil ya diferenciado cuyas propiedades físicas son muy particulares y limitantes por poseer un alto contenido (más del 60%) de arcillas expansivas 2:1 conocidas como montmorrillonita que se torna muy plástica y adhesiva cuando esta húmeda, y muy dura formando grietas de tamaños y profundidades variables en la estación seca debido a la pérdida de volumen asociada a la pérdida de agua. Las expansiones y contracciones de esos suelos se dan de manera alternativa en las épocas de sequía y de lluvias. La particularidad de estos suelos es poseer una infiltración y permeabilidad de agua impedida, por lo que ofrecen alto riesgo de inundación.

Es conocido en la región que cuando las lluvias son altas y permanentes por varios días consecutivos, acontece la saturación de la **lámina de agua** (condición de inundación) y consecuentemente el nivel freático se eleva haciendo que las raíces sean sometidas a condiciones anaeróbicas que las afectan, limitando el desarrollo vegetativo general de la planta. A esto hay que agregar el hecho de que en áreas próximas o de influencia marina se trata de agua con grado salino que favorece la osmosis celular y pérdida de turgencia de los tejidos.

Cuando los niveles de lluvia son altos, de carácter extraordinario para ser más precisos, puede darse un fuerte escurrimiento de agua en la superficie de los terrenos de las fincas que provocan que la mayoría de los drenajes naturales y artificiales colapsen por causa de la sedimentación; además de la influencia que las mareas ejercen sobre los caudales de los ríos, bloqueando su salida y con ello dificultando la evacuación del flujo laminar originado por el desbordamiento de los ríos y en consecuencia generan las inundaciones.

Los problemas que se dan en la región del Pacífico Central son provocados por varias causas ya conocidas por su recurrencia, virtud de la relativa proximidad de las plantaciones de caña a la desembocadura de los ríos del lugar al mar, como son: a) la intensidad y cantidad de lluvia caída, b) el elevado caudal y desbordamiento de ríos del lugar (Aranjuez, Ciruelas, Guacimal, Naranjo, Sardinal y Seco) y las Quebradas (El Palo y Los Negros), c) el aumento del nivel freático por saturación laminar y, d) el efecto

provocado por causa del llenado “pasivo” inducido por el “taponamiento” que sufren las vías de desagüe y drenaje durante las mareas altas que impiden su evacuación al mar.

Estas consecuencias son conocidas, recurrentes y hasta esperadas cuando los niveles de precipitación se incrementan en la zona a grados extraordinarios; esto por cuanto la sensibilidad de la región es muy alta por las razones anteriormente explicadas. Las zonas cañeras cercanas al Río Tempisque, Las Palmas, Río Cañas y Bebedero sufren también del mismo efecto aunque de manera más tardía por su ubicación y distancia en relación al mar.

Particularmente en la región cañera guanacasteca se dan en algunas localidades bajas y con condiciones favorables efectos similares a los del Pacífico Central; por ejemplo en la Zona Oeste de la región en las localidades de Jocotes, Paso Tempisque, Palmira, Comunidad, Sardinal, San Blas, Sector Papagayo, un sector de Guardia, Santa Ana, Guadalupe y Cañas Dulces, entre otras, presentan por lo general un menor impacto y afección en cuanto a daños o pérdidas totales en el cultivo, pese a las fuertes precipitaciones que también ocurren en el lugar en los inviernos fuertes. Esto porque la zona posee en su mayoría buenos drenajes y pendientes adecuadas que hacen que aunque los lotes permanezcan inundados, éstos rápidamente evacuen y liberen sus aguas ya sea a quebradas o a ríos vecinos, lo que no permite que el agua se estanque (empoce) por mucho tiempo.

Otras zonas cañeras guanacastecas importantes pertenecientes a los cantones de Carrillo y Santa Cruz también sufren el impacto de las lluvias, como son Filadelfia Centro, las localidades de Santa Lucía, Corralillo, La Boa, Guinea, Ortega, Bolsón, La Pavona, Talolinga, Talolinguita, Oriente, Espavelar, Santa Bárbara, Bernabela, Río Cañas y Piragua, entre otras, en donde los productores mayoritariamente entregan su materia prima a Azucarera El Viejo; además de otras localidades de Río Cañas Viejo, Belén y Filadelfia que entregan su materia prima al ingenio CATSA. Esta es una zona que en forma general y particularmente en ciertos sectores, reúne condiciones naturales que favorecen las

inundaciones cuando los períodos de lluvia son intensos y se prolongan durante algún tiempo, dentro de los cuales destacan la afluencia de agua proveniente de otros sectores (más altos) por efecto de la pendiente, las características físicas del suelo (textura arcillosa) poco lixiviables, con drenajes naturales impedidos que conservan mucha humedad al saturarse, lo que hace que las cañas no se desarrollen bien por esta causa. El impacto productivo y económico es por lo general importante.

Existen en esta zona de la región relativamente muy pocas pendientes que favorezcan las rápidas evacuaciones del agua, y en muchas ocasiones cuando se construyen drenajes, éstos terminan siendo medios por donde más bien se introduce el agua en vez de evacuarla. Obviamente no toda la zona presenta esa condición, aunque una importante sección de la misma exhibe en mayor o menor grado éstas condiciones.

En la sección este de la provincia guanacasteca y particularmente en los cantones de Cañas y Bagaces hay también algunas localidades productoras de caña en las cuales la lluvia en exceso ocasiona afección, como acontece en Bagatzí, Falconiana, Tamarindo, Bebedero y Paso Hondo, entre otras. Los suelos Vertisoles están presentes en buena parte de las plantaciones de caña la zona de Bagaces.

Resulta entonces válido, aplicable, predecible y hasta previsible esperar por las razones anotadas con anterioridad, que debido a la ubicación geográfica y condición físico-topográfica en que se encuentran muchas de las plantaciones comerciales de caña de azúcar en la región del Pacífico Seco, que cualquier estado de lluvias altas y/o constantes catalogadas como extraordinarias, induzcan problemas de saturación e inundación, pese a las importantes y onerosas obras de infraestructura y labores de drenaje que se han desarrollado en el lugar. Es bueno tener esto presente para futuro pues como se indicó, la condición natural físico-geográfica y edáfica del lugar favorecerá en correlación casi directa los problemas productivos generados por las lluvias que caigan en el lugar, lo cual se perfila como grave virtud de que está demostrado el aumento en la intensidad de las precipitaciones que se viene dando en la zona en los últimos años inducidas por distorsiones atmosféricas.

G.2) Resto del País

El efecto provocado por las altas precipitaciones en otras localidades cañeras del país es algo diferente a lo que comúnmente acontece en el Pacífico Seco, por cuanto el entorno productivo cambia sustancialmente en relación a algunas variables determinantes, como son: a) no se tiene influencia marítima, b) el nivel freático de los suelos es por lo general profundo, c) la pendiente ofrece un drenaje natural dinámico y efectivo, d) no hay suelos de permeabilidad limitada como los Vertisoles, sino por el contrario predominan los Ultisoles, Inceptisoles y Andisoles con muy buena permeabilidad y capacidad de lixiviación y percolación, e) el riesgo de inundación es casi nulo y f) el efecto de “taponamiento” de los conductos de agua de drenaje es reducido o nulo.

Puede asegurarse como lo demuestran los antecedentes de muchos años, que exceptuando situaciones extremas y muy particulares de siembras de caña ubicadas en

áreas muy próximas a ríos y niveles de precipitación extraordinarios, los efectos e impacto de las lluvias sobre las plantaciones de otras regiones son de naturaleza muy diferente a la que acontece en la zona baja del Pacífico Seco. En este caso, el nivel de pérdida de material vegetal es inferior y por lo común el impacto se da fundamentalmente sobre la concentración de sacarosa, la infraestructura y el laboreo de los campos.

H) Impactos Negativos del Exceso de Humedad en el Suelo

Se ha determinado a través de los años que la mayoría de fincas de caña de azúcar afectadas por las inundaciones, se ubicaban en promedio en cotas de elevación inferior a 20 msnm y están por lo general adyacentes a los ríos de mayor caudal. También se tiene por cierto que las plantaciones que sufren el mayor impacto y efecto de las inundaciones, son aquellas expuestas al agua por un periodo continuo de tiempo superior a 15 días, con presencia de una lámina inundable entre 0,30 y 3,0 m de profundidad.

Es importante indicar y tener presente para fines de interpretar con mayor certeza y objetividad los impactos provocados por el exceso de humedad en un suelo y muy en particular la existencia de condiciones de inundación, que la misma puede ser provocada: a) por un efecto ascendente y acumulativo de "llenado continuo, pasivo y sistemático de agua en el tiempo", y b) el agua producto de su volumen y la pendiente del terreno corre en sentido descendente con alguna velocidad provocando un efecto severo de escorrentía y arrastre de todo lo que encuentra a su paso (plantas, suelo, infraestructura, etc.), lo que provoca más daño en relación al efecto anterior. Esto es muy importante tenerlo presente para calificar, valorar y dimensionar impactos.

Tanto el periodo de inundación como la profundidad de la lámina inundable existente afectan drásticamente las plantaciones de caña de azúcar, principalmente aquellas que se encuentran en fase de crecimiento vegetativo activo (jóvenes), pues la mayoría de éstas colapsan irremediablemente ante el impacto del agua. Las plantaciones de mayor edad (10 - 11 meses de edad) soportan por lo general mejor las inundaciones, superando increíblemente en muchos casos sus efectos y consecuencias.

En casos de inundación severa resulta comprobable la presencia de daños muy fuertes (casi irrecuperables) a los lotes comerciales de caña cosechados de último durante la zafra anterior; así como también, a las áreas que se encuentran en fase de renovación, siembras nuevas y semilleros recién establecidos, especialmente en aquellos lugares donde ocurre mucha afluencia de agua, y en donde las pendientes son casi inexistentes (nivel cero).

El estrés provocado por causa de las inundaciones y presencia de condiciones anaeróbicas que inducen la "Anoxia Radicular" en la caña de azúcar (Anoxia = falta casi total de oxígeno en los tejidos) provoca diversos daños, los cuales se manifiestan como alteraciones morfológicas y estructurales de los tallos (raíces adventicias, "lalas", abscisión de hojas, clorosis foliar generalizada, volcamiento de plantas y arranque de cepas), lo cual induce serios perjuicios sobre la calidad industrial de la materia prima que ingresa a la fábrica de azúcar para su procesamiento.

También son probables de suceder daños provocados a nivel de procesos fisiológicos inducidos por las condiciones de Anoxia, prevalecientes en un área importante de plantaciones y que afectan directamente el crecimiento de las plantas.

No hay duda en que las lluvias en exceso y las inundaciones provocan en grado variable diversos daños y consecuencias negativas a la agroindustria de la caña de azúcar, que se resumen y puntualizan en los siguientes aspectos:

1) Arranque y pérdida total de plantas (cepas) por causa de la fuerza del agua (escorrentía), especialmente en zonas con alta y media pendiente.
2) Volcamiento de caña en diferentes grados: *ligero, medio y severo*. En el último caso la pérdida es total debido a que las precipitaciones se dan sin haber iniciado aún la zafra por lo que no hay posibilidad de molienda inmediata.
3) Cobertura de la caña volcada con lodo, piedras y rastrojos, provocando el "tapado" de la misma, lo que dificulta su posterior corte y extracción del campo durante la cosecha. En muchos casos se crea casi "un sello" que impide la cosecha.
4) La cantidad de basura (trash) que ingresa a la fábrica se ve significativamente incrementada.
5) Es de esperar un incremento importante en la producción de Cachaza.
6) Deben mantenerse mayores controles en procurar la estabilidad en el clarificador y los flujos de proceso, pues caso contrario se pierde eficiencia fabril.
7) Afección en diferentes grados de la plantación inundada por "Anoxia", dependiendo de la magnitud y días de inundación transcurridos. Se han reportado casos de inundación permanente por más de 25 días continuos bajo láminas de humedad importantes.
8) Afección, pudrición y pérdida de tallos industrializables por causa del exceso de humedad permanente.
9) La pérdida de biodiversidad en los casos de inundación duradera es importante por razones obvias, muy particularmente las especies más pequeñas y más sensibles. Los mamíferos son de los que más sufren.
10) Se crea con la alta humedad un ambiente favorable para el desarrollo de plagas y enfermedades de impacto productivo importante. La "Rata Cañera" es un buen ejemplo de la variación climática, como lo demostraran RETANA; SOLERA; SOLANO y ALVAREZ (sf) en el Ingenio Taboga.
11) Inducción posterior de raíces adventicias y desarrollo de "lalas" haciendo que los tallos industrializables pierdan riqueza en sacarosa y con ello valor comercial.
12) Cuando las lluvias se prolongan por periodos largos la intensidad de la floración puede verse incrementada por causa de la nubosidad que prevalece, con la consecuente afección agroindustrial de ella derivada.

13) Disminución de la concentración de sacarosa en los tallos por causa de la humedad excesiva y permanente en el suelo (lámina saturada), aún luego de superado el periodo de inundación, especialmente si el nivel freático es elevado y la altitud donde se ubica la plantación (msnm) es baja. La pérdida de concentración se da no sólo por causa de la inundación, sino también por activación del proceso de crecimiento vegetativo e inversión consecuente de sacarosa en la planta para suplir la energía metabólica requerida para ese proceso.
14) Alteración y modificación del proceso de maduración natural de la planta de caña, induciendo un retardo variable (de leve a severo) y consecuente alteración de los planes y programas de cosecha previstos originalmente ejecutar. La distorsión afecta tanto al productor como al ingenio y con ello a todo el sistema incluyendo la fase de comercialización.
15) Los lotes y plantaciones de caña que fueron cosechados en la fase final de la zafra anterior (último mes), son por lo común más afectados respecto a otros que han tenido más tiempo para germinar, retoñar, hijear y consolidar sus tallos.
16) Hay una pérdida neta directa por la cosecha de menos materia prima con menor concentración de sacarosa, lo que se traduce en menos ingresos económicos por azúcar y melaza para la empresa.
17) Incremento significativo de los costos de cosecha de la plantación (corta y carga) por dificultad para recolectar y extraer la materia prima del campo.
18) Aumento de los costos generales de cosecha por limitantes en el transporte de la materia prima a la fábrica por causa de la destrucción de caminos y áreas de acceso, extracción y transporte.
19) Se requiere en algunos casos aplicar lavado para eliminar material adherido (tierra, lodo) a la materia prima cosechada, lo que induce pérdidas de azúcar por esa razón. Está demostrado que el lavado de la materia prima induce pérdidas potenciales de sacarosa (hasta un 2%) que no se recuperan luego en la fábrica.
20) Se introduce al proceso fabril de azúcar material sólido (arenas, grava) difícil de eliminar y que puede provocar daños por fricción al equipo.
21) Incremento significativo de los costos de procesamiento, extracción y fabricación del azúcar en el ingenio por necesidad de mayor limpieza y control sanitario (bacterial).
22) Destrucción y/o alteración de la estructura física de la plantación: *surcos, entrecalles, diseño/riego y drenaje, cercas limítrofes, etc.*
23) Destrucción de los caminos, canales, alcantarillas, puentes y zonas de acceso a las plantaciones comerciales.

24) Se distorsionan, posponen o dejan de hacer en tiempo y calidad prácticas agronómicas importantes y determinantes (desaporca, aporca, fertilización, control de malezas) que afectan la productividad actual y futura de la plantación.
25) Alteración y distorsión de los planes generales administrativamente previstos desarrollar en el corto y mediano plazo: *cosecha, siembra, mantenimiento y atención de plantaciones comerciales*.

I) Conclusiones

A partir de lo señalado y comentado anteriormente puede concluirse lo siguiente:

1) La caña de azúcar es una planta (gramínea) que posee un biotipo excepcional que tolera en alto grado las condiciones estresantes provocadas por la alta humedad, pese a lo cual sufre los impactos de su exceso. Su capacidad de tolerancia y recuperación es muy sobresaliente, aún a condiciones severas de inundación.

2) Las lluvias en cantidades extraordinarias inducen afecciones directas e indirectas que tienen impacto productivo y económico variable en función de la intensidad, la cantidad y la duración de las mismas; además de las características fisiográficas del lugar donde este situada la plantación de caña.

3) Las pérdidas directas acontecen en localidades donde se dan condiciones de lámina saturada (inundación) por pérdida de materia prima por escorrentía y reducción en su concentración de sacarosa. También por afección y destrucción de la infraestructura física de plantaciones (surcos, sistemas de riego/drenaje, canales, alcantarillas, cercas) y acceso a las mismas (caminos, puentes).

4) Las pérdidas indirectas son generadas por los efectos secundarios que se traducen en pérdidas parciales y en diferentes proporciones de caña de acuerdo con la intensidad de la humedad; volcamiento de tallos; arranque de cepas; ahijamiento y generación de tallos no industrializables; generación de “lalas” y raíces adventicias; clorosis de follaje; pudrición de tallos; desconcentración de sacarosa por inversión del azúcar; alteración del proceso de maduración natural, entre otros efectos.

5) Hay una pérdida complementaria perfectamente cuantificable provocada por distorsión de los planes de manejo y administración de la empresa azucarera, sea una finca pequeña o un ingenio, virtud de posponer, eliminar o dejar de hacer en el campo prácticas agronómicas fundamentales en el momento oportuno y con la calidad requerida.

6) El impacto económico provocado por las lluvias se estima y traduce en una pérdida neta por el no ingreso recursos financieros por motivo del azúcar no fabricado y la melaza no recuperada.

7) Es importante considerar y tener presente en las inferencias y estimaciones que se realicen en torno al impacto provocado por las lluvias sobre la producción agroindustrial, que dichas pérdidas no son siempre necesariamente explícitas y cuantificables, pues inducen estrés tanto en las plantaciones como en la motivación de las personas por el esfuerzo perdido que se expresan muy posteriormente.

J) Literatura Citada

1) COSTA RICA. INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL. 2011. **La Niña y la Temporada de Lluvias se Intensifican.** San José, Costa Rica. Boletín ENOS N° 44. 3 p.

2) CUBERO FERNÁNDEZ, D. 2001. **Clave de Bolsillo para Determinar la Capacidad de Uso de las Tierras.** 1a ed. San José, Costa Rica: ACCS: MAG: ARAUCARIA. 19 p.

3) CHAVES SOLERA, M.A. 1988. **Efeito de Relações Ca:Mg, Utilizando Carbonatos e Sulfatos, Sobre o Crescimento e a Nutrição Mineral da Cana-de-Açúcar.** Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil. Dezembro. Tese de Mestrado (MSc). 186 p.

4) CHAVES SOLERA, M. 2008. **Uso de la Caña de Azúcar como Forraje.** *En*: Revista Especializada Ventana Lechera, Dos Pinos, San José, Costa Rica. Edición N° 10, Año 3, Diciembre 2008. p: 45-51. Disponible en:

http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/otros.

5) MIRANDA P., H. 2011. **Lluvias dejan pérdidas al sector agropecuario por ¢17.000 millones: Primera estimación del MAG tras 16 días de temporal.** Periódico La Nación, San José, Costa Rica martes 26 de octubre. Página 23A.

6) MONTENEGRO BALLESTERO, J.; CHAVES SOLERA, M. 2011. **Contribución del sector cañero a la mitigación del cambio climático.** *En*: Congreso Azucarero Nacional ATACORI "*Msc. Teresita Rodríguez Salas (†)*", 18, Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José, Costa Rica, 2011. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 8 y 9 de setiembre del 2011. 14 p. Conferencia Electrónica en Power Point. 54 Láminas. Disponible en: **http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/quema.**

7) MONTENEGRO BALLESTERO, J.; CHAVES SOLERA. M. 2009. **Emisión de gases por la caña de azúcar: propuesta metodológica para realizar un balance de carbono.** *En*: Congreso Azucarero ATACORI *"Cooperativa Agrícola Industrial El General R.L."*, 17, Colegio de Ingenieros Agrónomos, San José, Costa Rica, 2009. Memoria. San José, Asociación de Técnicos Azucareros de Costa Rica (ATACORI), 2 y 3 de setiembre del 2009. 18 p. Disponible en: Presentación Electrónica en Power Point. Moravia, San José, Costa Rica, setiembre. 43 Láminas: **http://www.laica.co.cr/biblioteca/dieca/otros.**

8) Retana, J.A.; Solano, J. sf. **Relación entre las inundaciones en la Cuenca del Tempisque, el Fenómeno de la Niña y los Rendimientos de Arroz de Secano.** San José, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional, Gestión de Desarrollo. 9 p.

9) Retana, J.; Solera, M.; Solano, J.; Alvarez, H. sf. **Efecto de la Variabilidad Climática sobre la Fluctuación Poblacional de la Rata Cañera *(Sigmodon hispidus)* en Cañas, Guanacaste.** San José, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional, Gestión de Desarrollo. Ingenio Taboga. 11 p.

10) Villalobos Flores, R.; Retana, J.A. sf. **El Niño: Una Revisión Bibliográfica.** San José, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional, Gestión de Desarrollo. 9 p.

11) Villalobos, R.; Retana, J. sf. **Costa Rica: Instituto Meteorológico Nacional.** *In*: Comparative Assessment of Agricultural Uses of ENSO-Based Climate Forecasts. Final Report, Part Two: Costa Rica. p: 49-95.

12) Villalobos Flores, R.; Retana Barrantes, J. sf. **Efecto del Cambio Climático en la Agricultura. Experiencias en Costa Rica.** San José, Costa Rica. Instituto Meteorológico Nacional, Gestión de Desarrollo. 2 p.

Cuadro 1.

Promedios de Precipitación Total Anual (mm) de algunas localidades productoras de caña de azúcar de Costa Rica.

Localidad	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Promedio
GUANACASTE							
Taboga	2.246,9	1.240,0	2.184,5	2.380,5	1.044,3	2.352,2	1.908,1
CATSA	2.253,6	1.398,3	2.437,2	2.734,0	1.443,0	2.579,0	2.140,8
El Viejo	2.207,1	1.140,2	2.037,2	-	-	-	1.794,8
Promedio	2.235,9	1.259,5	2.219,6	2.557,2	1.243,6	2.465,6	1.947,9
PACÍFICO CENTRAL							
El Palmar	2.242,2	1.544,2	2.189,2	2.374,3	1.121,9	2.910,1	2.063,6
VALLE CENTRAL							
DIECA	2.750,4	3.322,9	3.915,1	3.709,0	2.333,7	4.347,2	3.396,4
'COOPEVICTORIA	3.202,4	3.504,6	4.009,0	4.034,8	2.538,9	4.230,2	3.586,6
La Argentina	1,952,8	2.143,3	2.724,3	2.749,5	1.497,0	2.789,2	2.309,3
Promedio	2.635,2	2.990,3	3.549,5	3.497,8	2.123,2	3.788,9	3.097,4
ZONA NORTE							
Quebrada Azul	3.003,4	2.962,5	3.412,6	3.890,1	3.375,1	3.752,0	3.399,3
ZONA ATLÁNTICA							
CATIE	3.159,7	2.760,1	2.678,8	3.028,5	2.834,7	3.274,2	2.956,0
Juan Viñas	2.812,1	2.819,0	2.787,0	3.153,0	2.909,0	2.829,0	2.884,8
Promedio	2.985,9	2.789,5	2.732,9	3.090,7	2.871,8	3.051,6	2.920,4
ZONA SUR							
Repunta y Otras[1/]	2.757,0	2.439,1	--	--	--	4.155,1	3.117,1
PROMEDIO NACIONAL	2.643,3	2.330,8	2.820,8	3.082,0	2.147,1	3.353,9	2.757,6

1/ Años 2005 y 2006 correspondientes a Estación Repunta y 2010 al promedio de 6 Estaciones (ver Cuadro 2).

Cuadro 2.

Promedios de Precipitación Mensual (mm) de algunas localidades productoras de caña de azúcar de Costa Rica.

Localidad	Ene	Feb.	Mar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Set	Oct.	Nov.	Dic.	Total
GUANACASTE													
Taboga[1/]	1,6	24,9	15,4	71,2	183,7	278,7	202,6	272,8	313,1	405,3	110,6	28,2	1.908,1
CATSA[1/]	0	2,3	1,2	43,7	304,5	307,0	216,3	303,5	432,3	384,7	133,3	12,8	2.140,8
El Viejo[2/]	3,3	8,9	8,7	33,0	241,3	259,4	139,3	172,7	391,4	317,6	126,0	19,6	1.721,2
Aer Daniel Oduber[3/]	1,4	1,5	6,0	27,2	218,3	253,5	159,9	231,9	381,5	321,6	103,0	12,3	1.718,1
La Ceiba[4/]	0,7	6,6	6,9	30,9	243,1	261,2	191,8	245,1	371,9	357,2	131,4	10,8	1.857,6
Promedio	1,4	8,8	7,6	41,2	238,2	272,0	182,0	245,2	378,0	357,3	120,9	16,7	1.869,2
PACÍFICO CENTRAL													
El Palmar[1/]	0,2	8,1	3,4	59,8	302,1	267,4	210,4	311,6	292,0	428,8	149,0	30,8	2.063,6
Puntarenas[5/]	4,2	3,6	2,3	36,6	241,9	186,3	125,9	167,9	242,0	281,8	95,2	21,5	1.409,2
Promedio	2,2	5,8	2,8	48,2	272,0	226,8	168,1	239,7	267,0	355,3	122,1	26,1	1.736,4
VALLE CENTRAL													
DIECA[1/]	10,1	18,2	30,3	110,8	433,9	496,8	369,5	440,2	560,0	539,1	332,0	55,5	3.396,4
COOPEVICTORIA[1/]	7,6	16,8	16,1	85,8	454,5	466,1	433,6	512,8	628,1	591,1	333,3	40,9	3.586,6
La Argentina[1/]	6,3	15,9	15,9	81,0	305,9	287,8	267,2	296,0	411,5	381,5	213,0	27,3	2.309,3
Aer. Juan Santamaría[6/]	9,5	13,5	18,4	71,0	288,0	214,9	155,3	233,0	329,7	307,8	160,2	34,0	1.835,3
Promedio	8,4	16,1	20,2	87,1	370,6	366,4	306,4	370,5	482,3	454,9	257,1	39,4	2.781,9
ZONA NORTE													
Quebrada Azul[1/]	280,6	172,5	113,5	84,4	204,7	477,2	388,1	377,7	333,3	297,4	384,3	285,6	3.399,3
Ciudad Quesada[5/]	402,5	194,6	93,6	123,0	325,1	406,6	421,6	386,2	355,4	339,1	455,4	420,9	3.924,0
Los Chiles[7/]	88,1	40,5	29,0	43,3	169,2	228,7	267,8	230,0	195,9	200,8	152,3	128,5	1.774,1
Promedio	257,1	135,9	78,7	83,6	233,0	370,1	359,2	331,3	294,9	279,1	330,7	278,3	3.032,5
ZONA ATLÁNTICA													
CATIE[1/]	345,3	217,7	127,6	132,2	233,8	272,2	272,3	267,4	219,8	199,4	357,8	310,5	2.956,0
Juan Viñas[1/]	325,2	192,2	134,5	97,5	221,0	291,3	313,3	252,3	232,5	206,8	325,5	292,7	2.884,5
Promedio	335,2	204,9	131,1	114,8	227,4	281,7	292,8	259,8	226,1	203,1	341,6	301,6	2.920,4

ZONA SUR													
Ingenio[8/]	41,9	69,6	65,0	201,4	308,3	334,2	328,7	407,1	430,1	412,6	621,3	108,3	3.328,5
La Ceniza[8/]	28,1	62,6	19,7	147,6	229,5	204,5	208,4	403,9	420,6	328,2	515,1	84,6	2.652,8
Las Mercedes[8/]	43,3	85,3	102,1	170,4	308,8	453,8	324,1	430,1	425,0	416,8	609,9	88,9	3.458,5
Volcán[8/]	107,3	67,2	122,0	256,9	419,1	492,9	508,8	475,4	451,2	609,1	756,5	92,1	4.358,5
El Porvenir[8/]	47,0	76,3	121,9	249,7	375,3	488,1	324,5	453,7	463,7	557,5	643,4	122,6	3.923,7
Ceibo[8/]	15,8	42,4	65,3	272,8	394,9	380,9	318,8	481,0	464,1	528,3	542,4	59,7	3.566,4
Repunta[9/]	38,9	23,7	37,2	141,3	301,5	299,2	270,9	344,2	384,0	420,9	251,9	82,3	2.596,0
PINDECO[10/]	34,5	25,9	80,6	207,6	423,4	402,6	376,6	459,7	514,4	522,2	320,2	67,7	3.435,4
Promedio	44,6	56,6	76,7	206,0	345,1	382,0	332,6	431,9	444,1	474,4	532,6	88,3	3.414,9
PROMEDIO NACIONAL	108,1	71,3	52,8	96,8	281,0	316,5	273,5	313,1	348,7	354,0	284,2	125,1	2.625,9

*** Los valores corresponden al promedio mensual de los siguientes periodos de años:**

1/ 2005-2010 (6 años)

2/ 2000-2007 (8 años)

3/ 1977-2010 (33 años)

4/ 2000-2010 (11 años)

5/ 2001-2010 (10 años)

6/ 1999-2010 (12 años)

7/ 1995-2010 (16 años)

8/ 2009-2011 (2,5 años)

9/ 1962-2005 (49 años)

10/ 1987 -2010 (24 años)

Cuadro 3.

Promedios de precipitación anual (mm) de las 6 regiones productoras de caña de azúcar de Costa Rica.

Región	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Promedio
Guanacaste	2.235,9	1.259,5	2.219,6	2.557,2	1.243,6	2.465,6	1.947,9
Pacífico Central	2.242,2	1.544,2	2.189,2	2.374,3	1.121,9	2.910,1	2.063,6
Valle Central	2.635,2	2.990,3	3.549,5	3.497,8	2.123,2	3.788,9	3.097,4
Zona Norte	3.003,4	2.962,5	3.412,6	3.890,1	3.375,1	3.752,0	3.399,3
Zona Atlántica	2.985,9	2.789,5	2.732,9	3.090,7	2.871,8	3.051,6	2.920,4
Zona Sur[1/]	2.757,0	2.439,1	--	--	--	4.155,1	3.117,1
Promedio	2.643,3	2.330,8	2.820,8	3.082,0	2.147,1	3.353,9	2.757,6

1/ Años 2005 y 2006 correspondientes a Estación Repunta y 2010 al promedio de 6 Estaciones (ver Cuadro 2).

Cuadro 4.

Promedios de precipitación mensual (mm) de las 6 regiones productoras de caña de azúcar de Costa Rica.

Localidad	Ene	Feb.	Mar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ag	Set	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Guanacaste	1,4	8,8	7,6	41,2	238,2	272,0	182,0	245,2	378,0	357,3	120,9	16,7	1.869,2
Pacífico Central	2,2	5,8	2,8	48,2	272,0	226,8	168,1	239,7	267,0	355,3	122,1	26,1	1.736,4
Valle Central	8,4	16,1	20,2	87,1	370,6	366,4	306,4	370,5	482,3	454,9	257,1	39,4	2.781,9
Zona Norte	257,1	135,9	78,7	83,6	233,0	370,1	359,2	331,3	294,9	279,1	330,7	278,3	3.032,5
Zona Atlántica	335,2	204,9	131,1	114,8	227,4	281,7	292,8	259,8	226,1	203,1	341,6	301,6	2.920,4
Zona Sur	44,6	56,6	76,7	206,0	345,1	382,0	332,6	431,9	444,1	474,4	532,6	88,3	3.414,9
Promedio	108,1	71,3	52,8	96,8	281,0	316,5	273,5	313,1	348,7	354,0	284,2	125,1	2.625,9

Realizado con base en la información del Cuadro 2.

Figura 1. Precipitación Anual Según Región

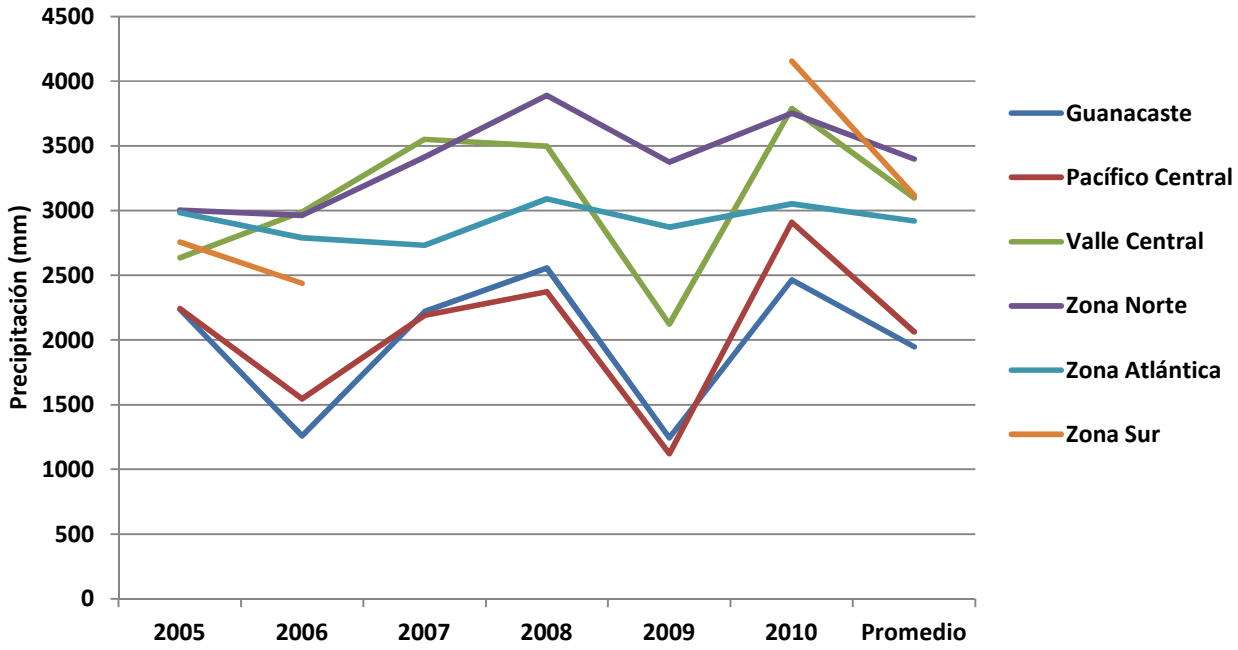
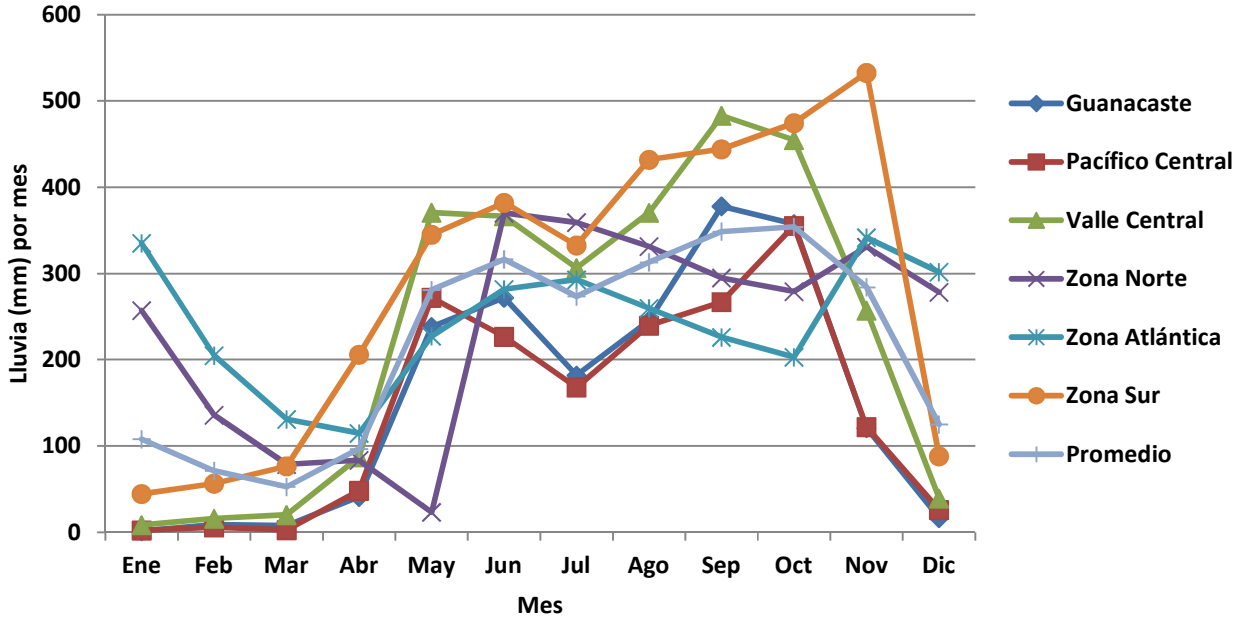


Figura 2. Promedio Mesual de Precipitación Según Región



Cuadro 5.

Promedios de precipitación anual (mm) según Vertiente de las regiones productoras de caña de azúcar de Costa Rica.

Vertiente	2005	2006	2007	2008	2009	2010	Promedio
Pacífica	2.467,6	2.058,3	2.652,8	2.809,8	1.496,2	3.329,9	2.469,1
Caribe	2.994,6	2.876,0	3.072,7	3.490,4	3.123,4	3.401,8	3.159,8

Basado en información del Cuadro 3.

Cuadro 6.

Promedios de precipitación mensual (mm) según Vertiente de las regiones productoras de caña de azúcar de Costa Rica.

Vertiente	Ene	Feb.	Mar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ago.	Set	Oct.	Nov.	Dic.	Total
Pacífica	14,1	21,8	26,8	95,6	306,5	311,8	247,3	321,8	392,8	410,5	258,2	42,6	2.449,8
Caribe	296,1	170,4	104,9	99,2	230,2	325,9	326,0	295,5	260,5	241,1	336,1	289,9	2.975,8

Basado en información del Cuadro 4.

Figura 3. Promedio de Precipitación Anual Según Vertiente

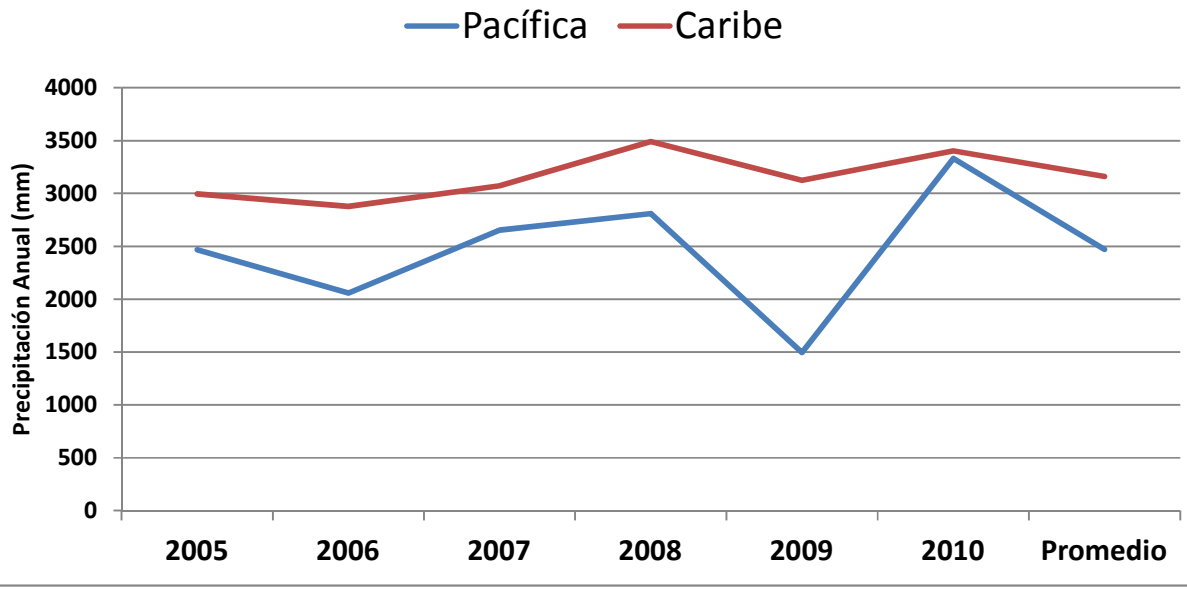
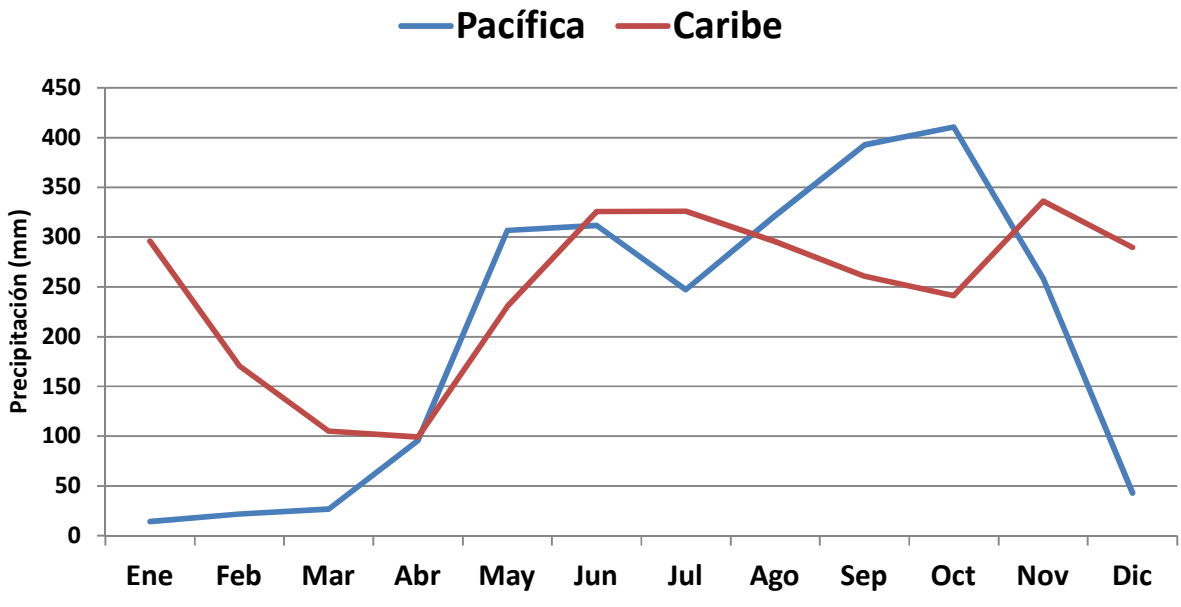


Figura 4. Promedio de Precipitación Mensual (mm) Según Vertiente



Cuadro 7.
Caracterización Edafoclimáticas de las Regiones Productoras de Caña de Azúcar de Costa Rica.

INDICADOR	REGIONES PRODUCTORAS						PROMEDIO NACIONAL
	GUANACASTE	PACÍFICO CENTRAL	VALLE CENTRAL	SAN CARLOS LOS CHILES	TURRIALBA JUAN VIÑAS	PÉREZ ZELEDÓN BUENOS AIRES	
PROVINCIAS INVOLUCRADAS	GUANACASTE PUNTARENAS	PUNTARENAS ALAJUELA GUANACASTE	ALAJUELA SAN JOSÉ	ALAJUELA	CARTAGO	SAN JOSÉ PUNTARENAS	
LATITUD (NORTE)	10° 11' – 10° 44'	09° 53' – 10° 05'	09° 57' – 10° 08'	10° 19' – 11° 01'	09° 48' – 09° 58'	09° 10' – 09° 22'	09° 10' – 10° 19'
LONGITUD (OESTE)	84° 57' – 85° 38'	84° 31' – 84° 48'	84° 12' – 84° 30'	84° 20' – 84° 43'	83° 33' – 83° 55'	83° 20' – 83° 42'	83° 20' – 84° 57'
ALTITUD PLANTACIONES (msnm)	5 - 160	0 - 350	600 - 1400	40 - 680	480 – 1.500	350 - 750	0 - 1500
ORDENES DE SUELO PREDOMINANTES	INCEPTISOL VERTISOL MOLLISOL ENTISOL	ENTISOL INCEPTISOL ALFISOL	INCEPTISOL ANDISOL ALFISOL ULTISOL	INCEPTISOL ULTISOL ANDISOL	ULTISOL ANDISOL INCEPTISOL	ULTISOL INCEPTISOL	INCEPTISOL ULTISOL VERTISOL ANDISOL
PRECIPITACIÓN ANUAL (mm)	1.100 – 2.600 (1.700)	1.100 – 2.900 (1.800)	1.450 – 3.900 (2.900)	1.700 – 4.300 (3.200)	2.500 – 3.300 (2.900)	2.400 – 4.300 (3.400)	1.100 – 4.300 (2.700)
TEMPERATURA (°C):							
MÁXIMA	31 – 34 (32,7)	30 – 35 (31,8)	27 – 32 (29,3)	27 – 33 (30,0)	23 – 30 (26,5)	26 – 33 (29,5)	23 – 35 (29,0)
MEDIA	26 – 28 (27,5)	25 – 29 (27)	20 – 27 (23,3)	23 – 27 (24,8)	18 – 23 (21,2)	22 – 27 (24,5)	18 – 27 (22,5)
MÍNIMA	21 – 24 (22,3)	19 – 24 (21,6)	13 – 20 (16,5)	18 – 21 (19,5)	14 – 19 (16,5)	17 – 21 (19,2)	13 – 24 (18,5)
AMPLITUD	10 (10,4)	11 (10,2)	12 – 14 (12,8)	9 – 12 (10,5)	9 – 11 (10,0)	9 – 12 (10,5)	10 – 11 (10,5)
BRILLO SOLAR *(HORAS y DÉCIMOS)*	4,9 – 10,2 (7,5)	3,5 – 9,1 (6,3)	4,8 – 9,4 (6,2)	1,4 – 6,9 (3,9)	2,2 – 5,2 (4,2)	3,5 – 7,8 (5,2)	1,4 – 10,2 (5,8)
RADIACIÓN SOLAR (MJ/m^2)	14 – 23,2 (18,6)	13,5 – 20 (16,7)	18	16	10,6 – 19,1 (16,2)	-	10,6 – 23,2 (16,9)
USO DE RIEGO	IMPORTANTE	IMPORTANTE	OCASIONAL	NO	NO	EN SEMILLEROS	IMPORTANTE
RELIEVE	PLANO/ LIGERAMENTE ONDULADO	PLANO/ MODERADAMENTE ONDULADO	PLANO/ ONDULADO	PLANO/ ONDULADO	PLANO/ FUERTEMENTE ONDULADO	PLANO/ ONDULADO	PLANO/ FUERTEMENTE ONDULADO
GRADO DE PENDIENTE (%)	0 - 8	0 - 12	0 - 30	0 - 25	0 - 35	0 - 20	0 - 35
RIESGO DE INUNDACIÓN	MEDIO-ALTO	ALTO	BAJO	BAJO	BAJO	NULO	MEDIO
GRADO DE MECANIZACIÓN	ALTO	ALTO	MEDIO	ALTO	MEDIO	MEDIO	ALTO
VARIEDADES MÁS SEMBRADAS (2010)	NA56-42 CP72-1210 CP72-2086 B80-689	CP72-1210 B82-333 SP81-3250 CP72-2086	Mex79-431 RB73-9735 Q96 H77-2545	SP79-2233 Q132 SABORIANA Mex79-431	H77-4643 B76-259 B77-95 PINDAR	SP71-5574 Q96 B89-1351 LAICA03-805	NA56-42 CP72-1210 CP72-2086 B80-689

FUENTE: CHAVES SOLERA, M. (2010).

NOTA: Los datos de clima presentan los ámbitos de mayor frecuencia y entre paréntesis el promedio general de la región.
Se citan las 4variedades de caña mayoritariamente sembradas en la región con su respectivo porcentaje interno, según Censo Variedades Año 2010.