
Increase opportunities with a "smart" agriculture based on the agrometeorological conditions

Lorena Arboleda-Castro¹., Ivan Jacho-Sánchez¹., Pavel Novoa-Hernández¹ Mario Herrera²
larboleda@uteq.edu.ec, ljacho@uteq.edu.ec, pnovoa@uteq.edu.ec, mariohscu@gmail.com

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos, Ecuador.

²PRODEUTEQ-ep. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Quevedo, Los Ríos,

Abstract: *In agricultural production it is essential to make use of each of the opportunities that appear in each of the circumstances of the productive activity. Among the situations with the greatest uncertainty are the climatic conditions, which are more uncertain when there is not sufficient and timely information on the behavior of the variables with significant value for the production system. The analysis of the system soil - plant - atmosphere in an efficient way, allows to discover the present opportunities and those to come that can be used in order to elevate or maintain the yields of the agricultural system in an economically sustainable framework, which is what pursues this work . The work is based on different agroclimatic and agrometeorological analyzes and the possible applications that can be derived from the exposed results to increase the efficiency of the agricultural system. The different ways of taking advantage of the opportunities offered by the use of short and long term information to carry out the management of agricultural systems are presented. Different regions and crops are analyzed through different agroclimatic indices and the way in which the agricultural system can be managed to mitigate or eliminate environmental threats and take advantage of the strengths of the system and the opportunities of that environment.*

Key Words: *opportunity, agroclimatic conditions, agricultural production*

Aumento de las oportunidades con una "smart" agricultura en función de las condiciones agrometeorológicas

Resumen: *En la producción agrícola es indispensable hacer uso de cada una de las oportunidades que aparecen en cada una de las circunstancias de la actividad productiva. Entre las situaciones con mayor incertidumbre están las condiciones climáticas, más inciertas cuando no se tiene información suficiente y oportuna del comportamiento de las variables con valor significativo para el sistema de producción. El análisis del sistema suelo – planta – atmósfera de manera eficiente, permite descubrir las oportunidades presentes y aquellas por venir que se pueden utilizar en pos de elevar o mantener los rendimientos del sistema agrícola en un marco económicamente sostenible, que es lo que persigue este trabajo. El trabajo se apoya en diferentes análisis agroclimáticos y agrometeorológicos y las posibles aplicaciones que se pueden derivar de los resultados expuestos para elevar la eficiencia del sistema agrícola. Se presentan las diferentes vías de aprovechar las oportunidades que nos brinda la utilización de la información a corto y largo plazo para llevar a cabo la gestión de los sistemas agrícolas. Se analizan diferentes regiones y cultivos a través de diferentes índices agroclimáticos y la forma en que se puede gestionar el sistema agrícola para mitigar o eliminar las amenazas del entorno y aprovechar las fortalezas del sistema y las oportunidades de ese entorno.*

Palabras Chave: *oportunidad, condiciones agroclimáticas, producción agrícola*

1. Introducción

La eficacia de la producción de alimentos depende principalmente de ciertos factores como la calidad de la semilla, la naturaleza del suelo, la actividad del hombre y el clima. En cada uno de ellos se pueden ejercer mejorías de diversas formas: la genética crea variedades que se adaptan a las condiciones presentes en los entornos; la productividad y aridez de los suelos puede encontrar su rehabilitación a través de programas de fertilización y de riego y drenaje, en cada caso. Todo lo anterior se alcanza con un manejo adecuado y sostenible. Sin embargo con las condiciones climáticas hay que elaborar tácticas y estrategias que accionan a corto y largo plazo, de manera que el sistema de producción aproveche las oportunidades de las condiciones del tiempo y del clima, según sea el caso [1].

Si se tiene en consideración sólo las condiciones climáticas, entonces se estará trabajando en función de los escenarios normales del tiempo, lo que resulta menos previsible si no se cuenta con un sistema estadístico que utilice herramientas probabilísticas que proteja de los riesgos a los productores. Los sistemas agrícolas han tenido que enfrentar muchos eventos extremos. Estos eventos pueden provocar destrucciones masivas de la infraestructura, cultivos, ganado, y la pérdida de vidas humanas [2], [3]. A esto hay que agregar, que en los últimos tiempos los años climáticos tienen un comportamiento más lejano de la norma condicionada por la presencia del evento ENOS, que determina que se enfrenten años secos o húmedos, en dependencia de la región. La presencia de este fenómeno puede provocar desastres como la manifestación de incendios forestales [4]. Si se tienen en consideración sólo las condiciones meteorológicas, entonces estaríamos a expensas de lo que ocurre cada día y estaríamos desprovistos de cualquier plan o estrategia.

Entre los factores fundamentales que influyen en el desarrollo de los cultivos están la temperatura y el fotoperiodo o duración relativa del día y la noche, los cuales son determinantes en la distribución de las especies y para reconocer de forma fidedigna la época del año en que se desarrollan de manera óptima, pero a su vez éste es modulado por variables climáticas como la precipitación, la insolación o la humedad relativa, y climático-edáficas como la humedad del suelo. Por ello, el curso anual del tiempo atmosférico sirve para concretar las fechas en las que se inician los mecanismos fisiológicos [5].

A simple vista es visible que relacionar las condiciones atmosféricas con el comportamiento del sistema de producción agropecuario conlleva realizar un análisis, que en ciertos aspectos tiene en cuenta lo táctico y en otros lo estratégico, lo que lo diferencia de los análisis que se realizan cuando seleccionamos una semilla para un suelo o el equipo de labranza idóneo para un sistema de producción o el tipo de plaguicida para determinado cultivo. Sin un análisis estadístico previo de las condiciones del tiempo y del clima resulta imposible obtener el resultado esperado y aun así estos resultados sólo logran mitigar los efectos no favorables, los que serían graves si no se analizan adecuadamente. La utilización de medios más sofisticados en países en desarrollo, como las observaciones satelitales, son de amplio uso por la empresa agrícola [6].

El objetivo del trabajo está dirigido a mostrar como el análisis del sistema suelo – planta – atmósfera permite el manejo eficiente del sistema de producción agrícola y descubrir las anomalías del clima y del

tiempo, situando al productor agrícola en condiciones de potenciar las oportunidades positivas y de mitigar o eliminar las negativas en pos de elevar o mantener los rendimientos del sistema agrícola en un marco económicamente sostenible.

2. Metodología

El trabajo se desarrolla en la ciudad de Quevedo, provincia Los Ríos, Ecuador y tiene en cuenta las estaciones meteorológicas de la zona a las cuales se les adicionaron estaciones virtuales para realizar las interpolaciones necesarias para la obtención de los mapas requeridos. La duración del período analizado fue de 30 años, el comprendido entre 1981 y 2010. Se utilizó el software CropWat y la base de datos ClimWat, ambos de la FAO, para complementar los resultados de la región que resultan escasos. Las estaciones utilizadas fueron: Babahoyo, Balzar, Canar, Daule, Guayaquil, Isabel-María, Pichilingue, Puerto Ila, Riobamba, San Carlos, San Juan, San Simon, Santo Domingo de los Colorados y Taura (Fig. 1).

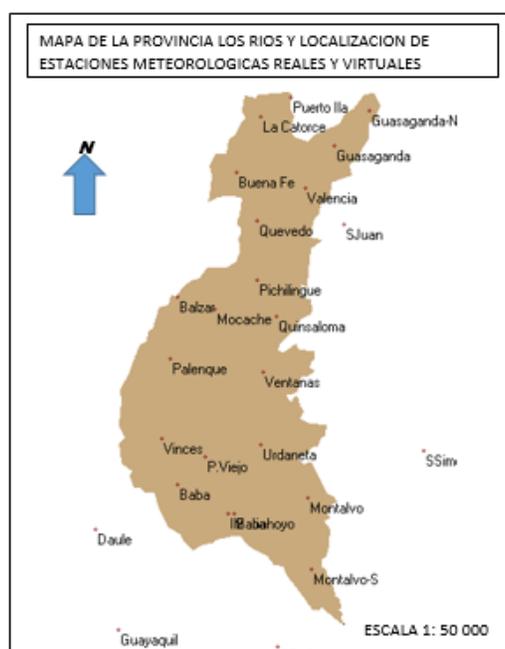


Fig. 1. Mapa de la provincia Los Ríos y localización de las estaciones meteorológicas.

El clima en la provincia Los Ríos se caracteriza por registrar únicamente un máximo lluvioso y una sola estación seca muy marcada, generalmente acompañada de temperaturas medias superiores a 22 °C y lluvias que van desde 1000 mm a 2000 mm, como media anual. Sólo en las regiones altas de la provincia se registran temperaturas entre 12 y 20 °C y precipitaciones que fluctúan entre 500 y 2000 mm.

Los cultivos más extendidos son el Cacao (*Theobroma cacao*), el maíz (*Zea mays*), el banano (*Musa paradisiaca*) y la palma aceitera (*Elaeis guineensis*). La ganadería menor también forma parte del sector económico de la provincia.

El trabajo se apoya en diferentes análisis agroclimáticos y agrometeorológicos y las posibles aplicaciones que se pueden derivar de los resultados expuestos para elevar la eficiencia del sistema agrícola. Se presentan las diferentes vías de aprovechar las oportunidades que nos brinda la utilización de la información a corto y largo plazo para llevar a cabo la gestión de los sistemas agrícolas. El análisis agroclimático se basa en el método de [7] que considera la probabilidad de que las precipitaciones superen la mitad de la evapotranspiración del cultivo para un 75% de probabilidades. El método se perfecciona con la inclusión de análisis espaciales sustentados en el software Agroclim-Map [1].

La investigación se apoya en la aplicación del software Agroclim-Map [1], [7]- [9], que presenta resultados en forma de tablas, gráficos y mapas del comportamiento de la suma de precipitaciones y de evapotranspiración de referencia en el período de crecimiento del cultivo. El software tiene la capacidad de trabajar como un sistema de información geográfica, facilitando la interpolación de datos, el trabajo con bases de datos y la creación de estaciones virtuales en locaciones de interés para el análisis. Se realizaron análisis de la suma de probabilidades que es capaz de detectar los riesgos a diferentes niveles de probabilidad y el análisis frecuencia de las precipitaciones.

Se analizan diferentes regiones y cultivos a través de diferentes índices agroclimáticos y la forma en que se puede gestionar el sistema agrícola para mitigar o eliminar las amenazas del entorno y aprovechar las fortalezas del sistema y las oportunidades de ese entorno.

Los índices agroclimáticos que se consideran son:

- ✓ Suma de precipitaciones en el período de crecimiento del cultivo.
- ✓ Suma de evapotranspiración potencial en el período de crecimiento del cultivo.
- ✓ Índice de sequía en el período de crecimiento del cultivo.
- ✓ Relación entre la suma de precipitaciones y la evapotranspiración del cultivo en el período de crecimiento considerado.
- ✓ Suma de probabilidades de los índices agroclimáticos.
- ✓ Análisis frecuencial de la suma de precipitaciones.
- ✓ Frecuencia en porcentaje con que la suma de precipitaciones supera la mitad de la evapotranspiración de un cultivo
- ✓ Índice potencial productivo de las regiones agrícolas.
- ✓ Porcentaje en que las precipitaciones satisfacen los requerimientos hídricos del cultivo durante su período de desarrollo.
- ✓ Pronóstico de humedad productiva.
- ✓ Pronóstico de condiciones favorables para la manifestación de plagas.

La evapotranspiración potencial se calculó por Penman-Monteith con el auxilio del CropWat que cuenta con los valores de las variables necesarias para su cálculo. La evapotranspiración de cultivo se calculó con los coeficientes de cultivo que presenta el manual Evapotranspiración de Cultivo [10].

3. Resultados

Oportunidades de la información climática para la empresa agrícola

Cualquier proyecto agrícola debe contar con información actualizada de los últimos 20 o 30 años de las condiciones climáticas de la región donde se desarrollará dicho proyecto. Contar con una caracterización agroclimática consecuente con mostrar los servicios del ecosistema relacionados con el tiempo y el clima imprimirá eficiencia a la gestión del sistema agrícola. La selección de la época de siembra, de aplicaciones fitosanitarias, del riego y el drenaje, de cosecha y otras, serán el producto del análisis de las condiciones agroclimáticas que resulte de la caracterización. Esta evaluación debe considerar las áreas y en que se manifiestan las condiciones favorables y desfavorables para el cultivo en cuestión, el porcentaje del área afectada por una condición y la probabilidad de este comportamiento.

La caracterización agroclimática de una región brinda las pautas para la selección de las alternativas en función de las condiciones climáticas. Una gestión agrícola que respete el medio ambiente debe transitar por esta vía para poder adaptar el sistema de cultivo a un territorio. Dentro de los requerimientos más importantes a tener en cuenta para el establecimiento de un cultivo, se encuentra el clima [11]. En el caso específico del Cacao (*Theobroma cacao* L.), los factores climáticos que más afectan la intensidad del crecimiento y la floración del cultivo son la cantidad y distribución de las lluvias, además de la temperatura [12]. La selección de la época de siembra, de aplicación de plaguicidas, de poda, cosecha y otras, estarán regidas por la sincronía que debe existir entre las condiciones climáticas y el desarrollo del cultivo.

Matriz DAFO aplicada a los recursos y gestión agrometeorológicas de la empresa agrícola.

Si se aplica la matriz DAFO a las condiciones climáticas de la empresa agrícola se podrían alcanzar los siguientes resultados:

Debilidades potenciales

Infraestructura adecuada para el análisis de las condiciones meteorológicas y climáticas que afectan a la producción agrícola.

1. Red de estaciones meteorológicas.
2. Especialistas dedicados a la gestión agrometeorológica.
3. Red de comunicaciones adecuada.
4. Preparación de los productores en el uso de la información agrometeorológica.
5. Condiciones del suelo.

Amenazas potenciales

Eventos y condiciones adversos que limitan los resultados productivos

1. Frecuencia de los fenómenos peligrosos. En estos se incluye el ENOS.
2. Probabilidad de manifestación de plagas.
3. Vulnerabilidad de las especies que componen la matriz productiva.

Fortalezas potenciales

Localización e infraestructura de la empresa agrícola.

1. Entorno de comercialización de la empresa agrícola.
2. Respuesta de la empresa agrícola a las condiciones agrometeorológicas.
3. Infraestructura de producción para responder a los eventos peligrosos.
4. Data climática de la empresa agrícola.

Oportunidades potenciales

Condiciones climáticas y meteorológicas

1. Información meteorológica regular por observaciones propias o de la institución responsabilizada, para decisiones a corto plazo.
2. Información climática normal y sobre el ENOS para decisiones a largo plazo.
3. Información sobre las condiciones del mercado nacional e internacional.

En este caso sólo haremos hincapié en las oportunidades presentes en el sistema agrícola relacionadas con la información meteorológica y climática, cuando se crea la infraestructura necesaria para prevenir las y poder utilizarlas convenientemente.

Suma de precipitaciones y de la evapotranspiración a largo plazo en el período de crecimiento del cultivo.

En ocasiones se caracterizan las condiciones climáticas de una región para evaluar su potencial agroclimático y se presentan los valores anuales o mensuales de las variables de interés para todo el año. A su vez, los valores que se presentan son los promedios anuales o mensuales. Para un cultivo que crece entre los meses de septiembre y diciembre, resulta de poca utilidad el valor anual que tiene la variable, pues su ubicación en el tiempo se localiza en el último tercio del año. Para una precipitación con una distribución que se concentra en el primer semestre, no tendría significado relacionar el promedio anual con sus resultados productivos. Evaluar la oportunidad que ofrecen las precipitaciones tiene que partir del comportamiento que tiene esta variable en el período de crecimiento del cultivo, y así para cada una de las variables. Un año lluvioso puede tener influencia sobre un período determinado que no abarque los doce meses, pero una mala distribución echaría por tierra las inferencias que se planteen.

Se quiere encontrar la fecha óptima para la siembra del maíz (*Zea maíz*) en la provincia de Los Ríos, Ecuador en el período jun - sep., con siembras que difieran en un mes. A continuación se presenta el comportamiento de la suma de precipitaciones en el período de crecimiento del maíz (Tabla I):

Tabla I. Precipitación acumulada máxima, media y mínima promedios en el período 1981-2010 en cuatro periodos de crecimiento del cultivo de maíz en la provincia de Los Ríos.

Períodos de siembra	Suma máxima de precipitaciones (mm)	Suma media de precipitaciones (mm)	Suma mínima de precipitaciones (mm)
Jun - Sep	596	206	75.1
Jul - Oct	451.4	152	64.8
Ago -Nov	479.1	195	66.2
Sep - Dic	823.1	448	156.6

(Fuente: Elaboración propia)

Es evidente que a medida que aumenta el mes de siembra se incrementa la suma de precipitaciones. Después es necesario conocer el comportamiento de la suma de la evapotranspiración del cultivo (Tabla II) y hacerlo corresponder con la suma de precipitaciones. En la evaluación habría que considerar que las afectaciones al cultivo pueden ser por defecto o por exceso. La utilización de un índice que evalúe que parte de la evapotranspiración es la suma de precipitaciones daría cuáles siembras son favorables o desfavorables.

Tabla II. Suma de la evapotranspiración máxima, mínima y medias promedios en el período 1981-2010 durante el período de crecimiento del maíz en la provincia Los Ríos.

Períodos de siembra	Suma máxima de la evapotranspiración de cultivo (mm)	Suma media de la evapotranspiración de cultivo (mm)	Suma mínima de la evapotranspiración de cultivo (mm)
Jun - Sep	579.6	399	335.1
Jul - Oct	596.5	411	340
Ago -Nov	622.9	427	346.1
Sep - Dic	631,4	439	352

(Fuente: Elaboración propia)

Si se evalúa el índice con los valores medios de las sumas de precipitaciones y de evapotranspiración se obtienen los siguientes resultados (Tabla III):

Tabla III. Comportamiento del Índice de Sequía promedio en el período 1981-2010 durante el período de crecimiento del Maíz en la provincia Los Ríos.

Períodos de siembra	$\left(\frac{\sum Prec}{\sum ETP}\right) 100$
Jun - Sep	51.6%
Jul - Oct	36.9%
Ago -Nov	45.6%
Sep - Dic	102%

(Fuente: Elaboración propia)

Es evidente que la siembra de septiembre es la más favorable, pues cuenta con la capacidad de satisfacer el 102% de la evapotranspiración del cultivo, mientras que la siembra de julio es la menos favorable, pues sólo cubre el 36.9% de la evapotranspiración. El 63.1% de la evapotranspiración debe ser satisfecha con riego, lo que representa gastos en energía para el bombeo, desgaste de equipos y el costo del volumen de agua. Conocer estas características constituye una oportunidad de ahorro de recursos, de elevación de la competitividad y de utilización racional de los servicios ambientales en la región agrícola.

Para tener una evaluación racional del comportamiento de una variable, es preciso contar con la posibilidad de estimar qué cantidad de área, en la región bajo análisis, alcanza una magnitud determinada. Esta evaluación muestra el verdadero potencial de la región en los servicios ambientales que puede utilizar el sistema agrícola. En la Fig. 2 se muestra un mapa en que se exhibe en el histograma adjunto, que existe un 27.89% del área en que los valores de la suma de precipitaciones fluctúa entre 550 y 700 mm. Esta evaluación permite que valores menores sean seleccionados por la mayor cantidad de área que alcanza la magnitud, ante un valor mayor, pero que se alcanza en una pequeña área, lo que puede resultar no conveniente. Esta característica es un valioso complemento y ayuda a visualizar mejor la oportunidad del servicio ambiental.

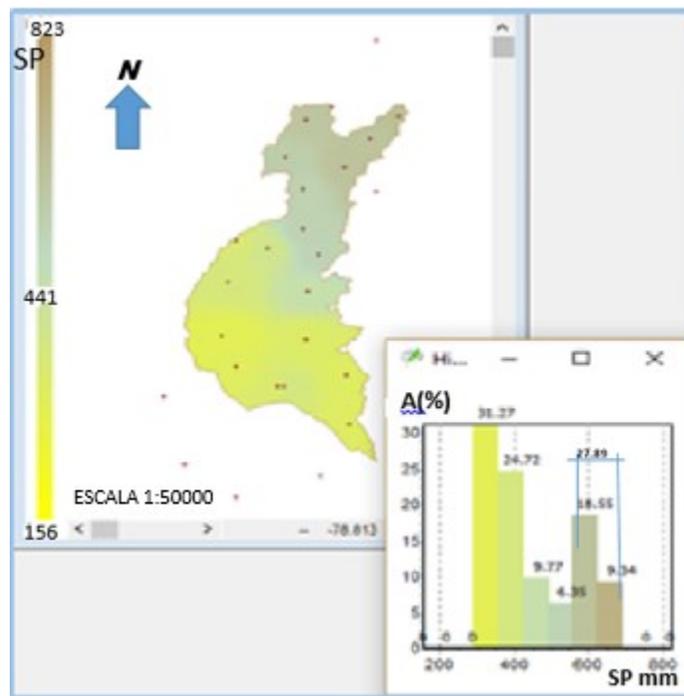


Fig. 2. Mapa de comportamiento de la Suma de Precipitaciones (SP) e histograma de la suma de precipitaciones contra Porcentaje de Área (PA) en el periodo septiembre – diciembre.

Suma de probabilidades de los índices agroclimáticos.

La evaluación de la suma de probabilidades permite contar con el pronóstico de las condiciones meteorológicas que han de enfrentar los sistemas agrícolas para poder alcanzar sus objetivos productivos. Condicionar los sistemas agrícolas a una probabilidad que reduzca las vulnerabilidades causadas por las condiciones meteorológicas, reduce el riesgo de enfrentar condiciones extremas y posibilita gestionar el entorno convenientemente, adaptando aquellos cultivos con mayor rusticidad a los territorios con afectaciones.

En la investigación llevada a cabo sobre la suma de probabilidades en el cultivo del maíz, resultó en que la siembra de septiembre fue la más favorecida con un 79% de probabilidad de que se satisfagan las necesidades hídricas del cultivo (significa que de cada 10 años, en 7,9 se satisfarían las necesidades hídricas) (Fig. 3). Se obtiene además, información sobre las áreas afectadas, lo que posibilita que se tomen medidas sobre el manejo del cultivo para mitigar los impactos, como contar con la cobertura de riego necesaria o con el reemplazo de variedades rústicas, menos vulnerables. La estrategia derivada de la evaluación agrometeorológica es determinante para reducir las pérdidas y elevar la eficiencia productiva.

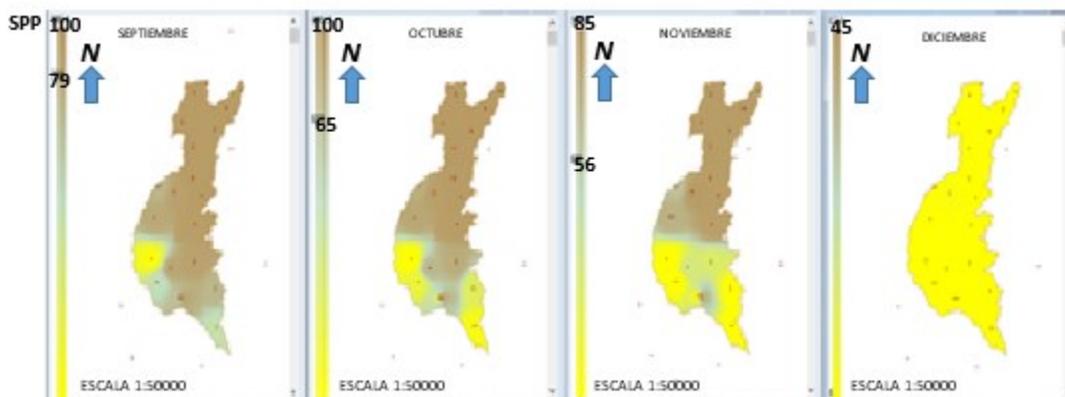


Fig. 3. Mapas del comportamiento de la suma de probabilidades de las precipitaciones (SPP) para el cultivo del maíz en los meses de siembra septiembre-diciembre.

Gestión de la empresa agrícola y pronóstico del ENOS

Cada vez son más previsibles las condiciones climáticas que debe enfrentar la empresa agrícola a consecuencia del evento ENOS (El Niño Oscilación Sur). Sus pronósticos están interrelacionados con las temperaturas que alcanza el Mar Pacífico y sus efectos sobre el comportamiento de las precipitaciones en extensas áreas de América del Sur, el Mar Caribe, el Sudeste Asiático y otras áreas, no menos importantes.

La empresa agrícola cuenta con una estrategia vinculada con las condiciones normales del tiempo: sus condiciones climáticas. Se planifica el cultivo, la fecha de plantación, las aplicaciones contra las plagas, los volúmenes de riego o las labores de drenaje. De cualquier manera la empresa agrícola siempre estará sujeta a la variabilidad climática presente en cada año, que alcanza mayores desviaciones o anomalías en años de Niño o de Niña. Considerar esta información le permite a la empresa adoptar las modificaciones necesarias que mitiguen o eliminen los impactos previsibles y obtener los resultados esperados.

Generar más conocimiento sobre la variabilidad interanual en Ecuador posibilitaría alertar con meses de anticipación la ocurrencia de eventos Niño o Niña, para mitigar y reducir los posibles efectos destructivos que ocasionan en el ámbito socioeconómico a lo largo del Ecuador. El ENOS ha sido estudiado en el país para tener mayor dominio de la variabilidad climática interanual y sus efectos [13], [14].

La información sobre el comportamiento del evento ENOS se hace pública con 6 meses a un año de antelación, posibilitando que la empresa agrícola pueda tomar las medidas necesarias para llevar a cabo una gestión acorde con las condiciones climáticas.

Análisis Frecuencial de Precipitaciones e Índice Potencial Productivo (IPP).

A través del Análisis Frecuencial de Precipitaciones se detectan las decenas con potencial de satisfacer las necesidades hídricas, lo que brinda información sobre los períodos con afectaciones para el cultivo, base para crear la estrategia de manejo del sistema agrícola.

En el estudio de caso siguiente, se muestra el Análisis Frecuencial en Quevedo y en Puerto Viejo, con 210 y 160 días de período de crecimiento para el Cacao (*Theobroma cacao L.*). En los gráficos se muestran las decenas con un 100% de satisfacción de las necesidades hídricas desde la 1ra decena hasta la 14va. Para Quevedo las afectaciones se mantienen alrededor de un 40%, aproximadamente, aunque en la 28va se anula. En Puerto Viejo las afectaciones se comportan alrededor del 20%, con la excepción de la decena 34va en que alcanzó un 60% (Figura 4). Estos resultados facilitan la estrategia de manejo del cultivo, asegurando producciones estables. Esta evaluación podría ser monitoreada en tiempo real, lo que corregiría las desviaciones respecto a la norma, lo que elevaría la eficiencia del riego con resultados positivos para los rendimientos del cultivo.

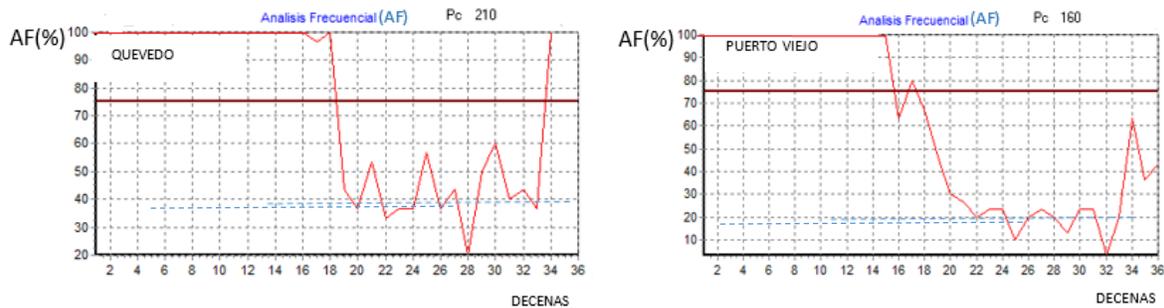


Fig. 4. Comportamiento del Análisis Frecuencial (AF) de precipitaciones para las estaciones de Quevedo y Puerto Viejo.

La evaluación del IPP aporta la productividad de un cultivo en función de las condiciones climáticas de la región agrícola. El siguiente estudio de caso muestra las mapas de riesgo del IPP para valores menores del 80 y del 90% para el Cacao (*Theobroma cacao L.*). Esta evaluación identifica las zonas con valores menores de los umbrales calculados (Figura 5).

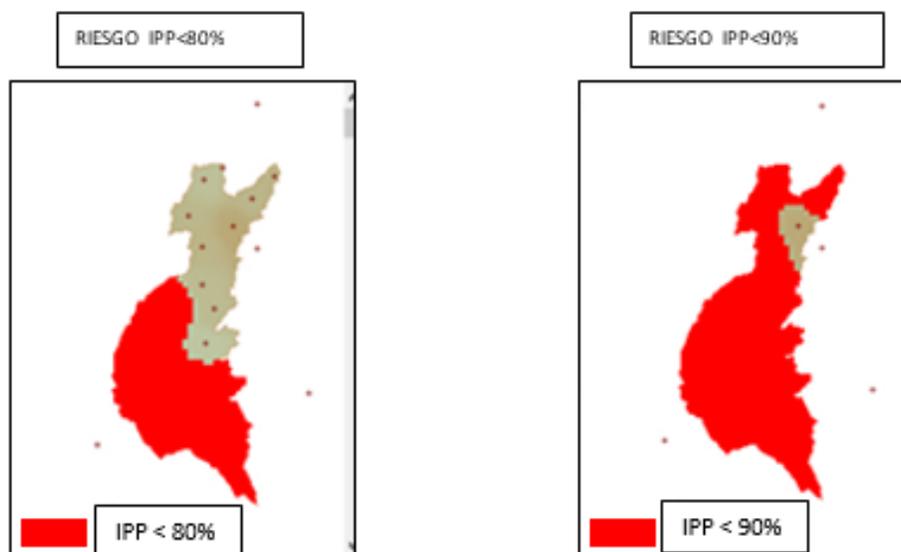


Fig. 5. Comportamiento del riesgo de que el IPP, en las zonas marcadas en rojo, alcance valores menores del 80% (mapa a la izquierda) y menores del 90% (mapa a la derecha).

Estas condiciones brindan una imagen de los impactos económicos que tendrán que enfrentar los productores por la obtención de rendimientos que no cubran los costos de sus inversiones y lo lleguen a satisfacer sus necesidades más elementales. Estos resultados posibilitan tomar las medidas necesarias que ayuden a mitigar o a eliminar los impactos observados.

Táctica y estrategia en la planificación del riego de los cultivos.

El comportamiento de las precipitaciones es azaroso en el día a día, lo que no limita que se pueda tener un estimado de las condiciones normales de la suma de precipitaciones que ocurre en una región determinada. En zonas con escasez de agua se precisa la planificación de los usos que tendrán las empresas agrícolas adscriptas en la región, de forma que las demandas sean satisfechas con la mayor equidad y justeza. Con una probabilidad favorable se podrá prever la cantidad de agua con que se contará, para así poder realizar una adecuada repartición. Las demandas se corresponderán con las evapotranspiraciones potenciales normales enmarcadas en los ciclos de cada cultivo. Todo lo anterior es posible, gracias a los valores normales de las precipitaciones y de la evapotranspiración. Por otra parte, la variabilidad climática y su relación con el tiempo de cada día, es lo que definirá la cantidad de agua que se debe utilizar, lo que dependerá de las lluvias y de la evapotranspiración de los cultivos. En este caso se estará haciendo uso de las condiciones del tiempo, de lo que sucede cada día y en el corto plazo, asegurando que se riegue lo que necesita la planta y no volúmenes que excedan o no lleguen a la satisfacción de los cultivos.

Para lograr esto último se requiere contar con un pronóstico de riego que examine cada día la cantidad de lluvias caída, la evapotranspiración diaria del cultivo y la cantidad de agua que queda almacenada en el suelo. Mediante un balance hídrico se podrá calcular el riego necesario cada día. La variabilidad

ambiental determina sobre el régimen de riego para la satisfacción de las necesidades hídricas de los cultivos [15].

La competencia por el vital fluido será menor en años lluviosos, lo que permitirá reducir la distancia entre plantas, por lo que se podrá obtener una mayor producción por unidad de área. Se reporta que la irrigación y la fertilización constituyen las acciones más importantes en términos de energía, en especial en el caso de un manejo tecnificado. El estudio presentó que el costo de la unidad de producción se estimaba entre 36.7 y 40.6 MJ kg⁻¹, con emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de 2.49 y 2.82 CO₂-eq kg⁻¹, respectivamente [16].

El cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos requiere del conocimiento del coeficiente de cultivo (Kc) en cada una de sus fases de desarrollo. En este cálculo el uso de Kc, es limitante porque es necesario conocer la etapa correcta de desarrollo de diferentes cultivos en áreas grandes con variabilidad alta en las fechas de siembra [17]. Para determinar la evapotranspiración del cultivo es necesario conocer el tipo de cultivo, fecha de siembra, condición de estrés y etapa fenológica de cada parcela. Conocer lo anterior consume recursos económicos y tiempo [18], [19]. Con el uso de sensores remotos para la detección del Índice de Vegetación de Diferencias Normalizadas (NDVI) se ahorra tiempo y recursos, con el monitoreo de extensas áreas en pequeños espacios de tiempo. Lo anterior se logra estableciendo correlaciones entre el Kc de los cultivos y el NDVI de las fotos de satélites de alta resolución [20]. Establecer la infraestructura adecuada es una forma viable y económica de tener acceso a las oportunidades, como es el caso mostrado.

Desarrollar esta práctica le permite a la empresa agrícola aprovechar la oportunidad de suministrarle al sistema de producción los volúmenes requeridos, realizando un uso racional de este preciado líquido.

Pronóstico de condiciones climáticas favorables para la manifestación de plagas

Las plagas de los cultivos, en forma general, tienen su hábitat de crecimiento y desarrollo bajo tenores de condiciones climáticas específicas. En el caso de las plagas fungosas, van a responder favorablemente a rangos de temperaturas y de humedad relativa determinados. Las empresas agrícolas deben observar un monitoreo sistemático de las condiciones de las plantas ante la amenaza de una infestación por plagas. Los riesgos potenciales se prevén a través de las condiciones agroclimáticas de la región, mientras que las que ocurren en el momento por las observaciones agrometeorológicas. Estas últimas se realizan diariamente, directamente sobre las plantas y por las condiciones del tiempo atmosférico.

La detección instantánea de las condiciones del tiempo favorables para la manifestación de las plagas, permite realizar aplicaciones racionales de plaguicidas, que resultan más efectivas, por encontrarse la población de insectos u hongos en fases de mayor vulnerabilidad ante estas aplicaciones, por lo que se pueden utilizar menores volúmenes de productos, causando menor daño a los controles biológicos y a los servicios ambientales en general. Como ejemplo de lo anterior se tiene que a causa del monitoreo de las condiciones agrometeorológicas sobre plantaciones de tabaco, fue posible reducir los focos del Moho Azul del tabaco (*Peronospora tabacina* Adams) por las recomendaciones precisas, que fueron incorporadas como estrategia al manejo integrado del cultivo, con los consiguientes impactos medioambientales positivos [21].

Las enfermedades son el principal factor para que un cultivo de cacao tenga o no un buen rendimiento y producción [22]. Se favorece la aparición de enfermedades, como la Mazorca Negra (*Phytophthora* sp), con las altas temperaturas y lluvias frecuentes [23]. El monitoreo de estas condiciones propicia la aplicación de medidas preventivas, que elevan la efectividad de los controles fitosanitarios.

La Mazorca Negra se propaga rápidamente, ya que puede cubrir toda la superficie y los tejidos en un lapso de 11 días desde la infección [24]. Esta puede ser devastadora cuando no se trata. Representa hasta el 90% de la pérdida en todo el mundo, con un impacto económico estimado de hasta 450 mil toneladas métricas que ascienden a 423 millones de dólares de pérdidas cada año [25]. Para controlar la enfermedad, se han propuesto muchos procedimientos de gestión, cada uno con sus propias fortalezas y limitaciones. Estos incluyen la introducción de agentes de control biológico, la aplicación de pesticidas químicos, pesticidas fitosanitarios y la manipulación genética de variedades resistentes [26].

Tener el acceso a esta información y utilizarla adecuadamente es una oportunidad que brinda la Meteorología Agrícola que repercute en menores costos en las inversiones de plaguicidas; una mayor efectividad de las aplicaciones; y un menor impacto a las condiciones medioambientales. Esta última, en relación directa con la productividad del entorno, que se torna menos agresivo cuando puede contar con los controles biológicos necesarios.

4. Conclusiones

Una gestión dirigida a aprovechar cada una de las oportunidades de los servicios ambientales con que cuenta el medio ambiente a través del tiempo atmosférico y de las condiciones climáticas, representa una garantía para el manejo de los cultivos en la empresa agrícola, al poder utilizar el potencial agroclimático con que cuenta la región. La prevención de condiciones anómalas para evitarlas o de las beneficiosas para potenciarlas se pueden desarrollar con el monitoreo de las condiciones agroclimáticas y agrometeorológicas. Las inversiones destinadas a tener acceso a información agroclimática y agrometeorológica sistemática y oportuna mejora la gestión empresarial, reduciendo los costos por gastos innecesarios, minimiza los daños al medio ambiente y eleva las ganancias.

Referencias

- [1] Herrera, M. 2000. Contribución metodológica a la zonificación agroclimática de la caña de azúcar: Caracterización agroclimática de las áreas cañeras de la provincia La Habana. Disertación PhD, Universidad Agraria de la Habana, La Habana.
- [2] Gomme, R. 1999a. Extreme Agrometeorological Events, Discussion leading to the terms of reference for a database. WMO CagM-12 WG on Extreme Agrometeorological Events, 17 pp.
- [3] Gomme, R. 1999b. Desert Locusts. WMO CagM-12 WG on Extreme Agrometeorological Events, 6 pp.
- [4] Cardil, A., 2015. Ecology, meteorology and simulation of large wildland fires. Autores: Adrián Cardil Forradellas. Directores de la Tesis: D. Molina Terrén (dir. tes.) Lectura: En la Universitat de Lleida (España).
- [5] De Cara, J. 2006. La observación fenológica en agrometeorología. Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente, ISSN 1577-9491, N°. 53, págs. 64-70.

- [6] Samarasinghe, G. 2003. Growth and yields of Sri Lanka's major crops interpreted from public domain satellites Agricultural water management: an international journal, ISSN 0378-3774, Vol. 58, N° 2, págs. 145-157.
- [7] Frere, M.; Popov, G. 1986. Early agrometeorological crop yield assessment. Plant Production and Protection. Paper N. 73. FAO, Rome. 150 p.
- [8] Herrera, M. y González, C. 2007. AgroClim: Un software para la ciencia y la docencia. Premio Relevante en Fórum Provincial, Ciudad Habana, Cuba.
- [9] González, C.A.; Moutahir, H.; Herrera, M., Zayas, L.; Touhami, I. and Bellot, J. 2012. Agroclim-Map, a GIS Application for Agroclimatic Systems Analysis. Proceedings of the International Conference of GIS Users, Taza GIS- Days, Morocco, 23-24 May 2012, 491-493.
- [10] Allen, R., Pereira, L., Raes, D., Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ESTUDIO FAO. RIEGO Y DRENAJE 56. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- [11] Suárez, G., Soto, F., Garea, E. y Solano, O. 2015. Caracterización agroclimática del macizo montañoso Nipe-Sagua-Baracoa, en función de la zonificación agroecológica para el cacao (*Theobroma cacao* L.). Cultivos Tropicales, vol.36 no.1 La Habana ene.-mar.
- [12] Almeida, A. y Valle, R. 2008. Ecophysiology of the cocoa tree. Revista Brazilian Journal of Plant Physiology, vol. 19, no. 4, pp. 425-448. ISSN 1677-0420.
- [13] CEPAL - Comisión Económica para América Latina y el Caribe (1983). Ecuador: Evaluación de los efectos de las inundaciones de 1982–1993 sobre el desarrollo económico y social. // (Marzo de 1983).
- [14] Hidalgo, M., (2017). Variabilidad climática interanual sobre el distrito metropolitano de Quito asociada a ENOS. CienciAmérica (2017) Vol. 6 (1). ISSN 1390 9592. Universidad Indoamericana. (Abril del 2017).
- [15] Nerilli, E. 2016. Analysis of technical and environmental variability on irrigation requirements of fruit orchards, estimation of tree transpiration by gas flux analysis (CO₂ y H₂O). Tesis doctoral dirigida por Valvanera Zapata Ruiz (dir. tes.), José Fernando Ortega Álvarez (dir. tes.), Enrique Playán Jubillar (dir. tes.). Universidad de Castilla-La Mancha.
- [16] Pérez, D. 2016. Energy sustainability of Ecuadorian cacao export and its contribution to climate change. A case study through product life cycle assessment Journal of Cleaner Production. Journal of Cleaner Production. Volume 112, Part 4, 20: 2560-2568.
- [17] Allen, R. G., M. Tasumi., A. Morse, and R. Trezza. 2005. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. Irrig. Drain. Syst. 19: 251-268.
- [18] Tasumi M., R. Allen, R. Treza, and J. Wright. 2005. Satellitebased energy balance to assess within-population variance of crop coefficient curves. J. Irrig. Drain. Eng. 131: 94-109.
- [19] Singh R. K., and A. Irmak. 2009. Estimation of crop coefficients using satellite remote sensing. J. Irrig. Drain. Eng. 135: 597-608.
- [20] Castañeda-Ibáñez, C., Martínez-Menes, M., Pascual-Ramírez, F., Flores-Magdaleno, F., Fernández-Reynoso, D., Esparza-Govea, S. 2015. Estimación de coeficientes de cultivo mediante sensores remotos en el distrito de riego Río Yaqui, Sonora, México. Agrociencia 49: 221-232.
- [21] Cabrera, M.; Fernández, M. 2006. La agrometeorología en función de la calidad. Avanzada Científica, ISSN-e 1029-3450, Vol. 9, N° 2.
- [22] Torres, L. 2012. Manual de producción de cacao fino de aroma a través de manejo ecológico. dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/3250/1/TESIS.pdf.

- [23] Quiroz, J., Agama, J. 2006. Programa de capacitación en la cadena de cacao. Módulo Producción. Unidad 3. Quito.
- [24] Phillips Mora, W.; Cerda Bustillo, R. 2009. Catalog of cacao diseases in Central America [English] Serie Técnica. Manual Técnico. CATIE, Turrialba, Costa Rica. No. 93. 24 p.
- [25] Bowers, J., Bailey, B., Hebbar, P., Sanogo, S., Lumsden, R. (2001). The impact of plant diseases on world chocolate production. *Plant Health Prog*, 10.
- [26] Stanley, D., Neil, R., Laguna, A., Ngo, C., Lao, A., Amalin, D., Alvindiah, D. 2018. AuToDiDAC: Automated Tool for Disease Detection and Assessment for Cacao Black Pod Rot Crop Protection. *Volume 103, January: 98-102.*