

Diseño participativo de una alerta agroclimática temprana para el cultivo de papa criolla (*Solanum phureja*) en Subachoque, Colombia

Participatory design of an early agroclimatic alert for crop gold potato (*Solanum phureja*) in Subachoque, Colombia

Julieth Camila Vargas Camacho ¹, Ángela María Plata Rangel ², Oscar Guevara ³.

Universidad Sergio Arboleda ✉ julyvargasc321@gmail.com

Universidad Sergio Arboleda ✉ angela.plata@usa.edu.co

Universidad Sergio Arboleda ✉ oscaraato@gmail.com

Rec.:12-23-2018. Acep.:01-14-2020

Resumen

Los cambios en las variables de temperatura (T -°C) del aire y precipitación (P -mm) en la región del municipio de Subachoque, Cundinamarca (Colombia), están afectando la productividad del cultivo de papa criolla (*Solanum phureja*). El presente trabajo tuvo por objetivo diseñar una alerta agroclimática temprana participativa (AATP) para la toma de decisiones en el manejo de este cultivo en la región. La metodología fue desarrollada bajo los enfoques participativo y análisis estadístico climatológico. Los análisis mostraron un aumento constante de la temperatura (ΔT) de 0.05 °C en el periodo 1966 – 2017; así como en eventos Niño en el periodo 1951 - 2017. La precipitación, promedio mensual, no es suficiente para cubrir el requerimiento de agua del cultivo, especialmente entre diciembre y febrero, y julio y agosto, por lo que el agricultor debe aplicar riego en estos periodos. Por lo anterior, se sugiere hacer la siembra de papa criolla en los meses de marzo-abril y agosto-septiembre, cuando la precipitación y la temperatura son adecuadas para el desarrollo y producción de este cultivo.

Palabras clave: Anomalía climática; Balance hídrico; Calendario agroclimático; Variables climáticas.

Abstract

In Subachoque, Cundinamarca (Colombia) changes of air temperature (T°) and precipitation (P), are affecting Gold potato crop (*Solanum phureja*) productivity. The aim of this research was to create an alert for decision making in Gold potato crop. The methodology was in two ways: participative focus and statistical climatic analysis. Analysis showed a gradual increase in temperature in the town (ΔT° 0.05 C° between 1966 to 2017) and increase of dry years since the 90's (1951 to 2017). Annual analysis demonstrated that monthly P average is not enough to cover potato crop monthly water consumption, for this reason, farmers need to implement irrigation systems from December to February and July to August. It is recommended to plant from March or April and August or September since these periods have optimal state for P and T° variables for gold potato crop.

Key words: Agroclimatic alert; Climatic anomaly; Climatic variables; Water Balance.

Introducción

En Colombia, la papa criolla (*Solanum phureja*), al igual que la papa común (*Solanum tuberosum*), es un cultivo comercial bien adaptado a zonas situadas entre 2500 y 3500 m.s.n.m y un ciclo productivo de 4 meses (Rivera, 2003 citado en Correal, 2009). En condiciones naturales la papa criolla está expuesta a factores de estrés por déficit o exceso de agua, salinidad, diferencia de nutrientes en el suelo, y congelamiento por efecto de factores de clima adverso, entre otros. El estrés hídrico por déficit de agua limita el crecimiento vegetativo y acorta el ciclo del cultivo (Aldabe y Dogliotti, 2006 citados por Rojas-Barbosa, 2011) y el exceso de oferta hídrica limita el crecimiento de las raíces y la producción de tubérculos (MADR; 1991, citado en Rojas, 2011). La papa es una planta termo periódica, por lo que necesita una variación entre temperatura ambiente máxima y mínima de 10 °C o más, con un rango de temperatura óptima para su desarrollo entre 15 y 18 °C. Las temperaturas altas afectan el crecimiento del tubérculo (CENTA, 2002 citado en Rojas-Barbosa, 2011) y las temperaturas extremadamente bajas ocasionan la muerte de las plantas (Rojas-Barbosa, 2011).

El municipio de Subachoque es una zona tradicionalmente productora de papa lo que permite contar con información histórica de rendimiento, comportamiento fenológico y percepción de los agricultores frente a las variaciones climáticas (CIAT, 2015), su principal actividad económica es la agricultura y la papa es una de las fuentes de alimento más importantes (Acuerdo No 015, 2000).

El objetivo de la presente investigación fue diseñar una Alerta Agroclimática Temprana Participativa (AATP) para la toma de decisiones en el cultivo de papa criolla frente a las variaciones climáticas en la región. Como fuentes de información se utilizaron datos agroclimáticos y análisis meteorológicos de estaciones del IDEAM y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), balance hídrico mensual multianual y talleres participativos con la Asociación de Productores de Papa Criolla (Asocriolla) del municipio de Subachoque.

Materiales y métodos

Área de estudio

El municipio de Subachoque (N 4°55'42.48"; O 74°10'20.60") se encuentra ubicado en la Sabana de Bogotá a 45 km de la capital, limita con el municipio de Pacho, Madrid, El Rosal, Zipaquirá, Tabio, Tenjo y con San Francisco y Supatá. La temperatura promedio anual es de 13 °C con zonas

de clima frío y páramo. La precipitación, promedio anual, es de 890 mm, distribuida entre abril y junio y entre octubre y diciembre (Cideter, 2000)

Investigación acción participativa (IAP)

La IAP es un modelo utilizado principalmente en estudios de sociología, que está relacionado con la construcción científica y la reconstrucción de un pensamiento nuevo (Ángel, 2011), sólo se puede aplicar efectivamente a una escala micro social ya que la participación en los procesos es eficiente cuando existe una cercanía vital (Ander, 2003), lo que constituye una herramienta ideal para el caso Asocriolla.

El trabajo se inició con la identificación de partes interesadas y actores clave para determinar el mejor método de convocatoria y participación. Seguidamente fueron invitados los socios de Asocriolla a la presentación del objeto de la investigación y después de su aceptación, se iniciaron los talleres participativos siguientes: (1) tuvo por objeto identificar las causas que afectan el cultivo de papa y el nivel de conocimiento sobre variaciones climáticas en la región; (2) en este taller los agricultores resaltaron las zonas óptimas de siembra y las estrategias de adaptación del cultivo; (3) los participantes identificaron, según su experiencia, los años más secos y los más lluviosos y aquellos con ocurrencia de heladas en un periodo anterior de 30 años (Tabla 1); (4) finalmente, se diseñó el calendario agroclimático de acuerdo con los resultados participativos y estadísticos.

Tabla1. Percepción de los socios de Asocriolla de eventos extremos de clima entre 1987 y 2017. Subachoque (Colombia).

Año*	Mes seco	Mes lluvioso	Heladas
1990	Enero	—	Febrero, Agosto
1991	Enero	—	—
1992	Enero	—	—
1994	Enero	—	—
1995	Enero, noviembre	—	—
2001	Enero	—	Enero, febrero, agosto
2005	—	Enero	—
2006	—	Enero	—
2007	—	—	Enero, febrero
2008	Enero, noviembre	—	Febrero
2009	Marzo	Noviembre	Agosto
2010	Abril	—	—
2011	Agosto	Abril, junio	—
2012	Julio, agosto	—	—
2016	Enero	—	Julio
2017	Enero	—	—

* Entre 1987 y 1990 no se registraron eventos. S: secos; LL: lluviosos; H: Heladas. (Asociación de productores de papa criolla, Subachoque (Colombia))

Cálculo de anomalías climáticas

La variabilidad del clima fue identificada mediante el estudio de la ocurrencia de anomalías frecuentes, las cuales consisten en las diferencias entre el valor registrado (Ec. 1) y la media (Ec. 2) (IDEAM - UNAL, 2018).

$$Ti = T - Tm \quad \text{Ec. 1}$$

$$IP = P - Pm \quad \text{Ec. 2,}$$

donde, Ti es la anomalía de la temperatura media mensual e IP de la precipitación. T y P son, respectivamente, la temperatura y la precipitación en un mes determinado. Tm y Pm son, respectivamente, las medias multianuales de T y P .

Los percentiles fueron calculados con el programa Microsoft Excel. Cuando estos presentaron un valor $X \leq 10\%$ y $X \geq 90\%$, y $X \leq 5\%$ y $X \geq 95\%$, se consideraron eventos extremos que ocurren al menos el 10% o 5% de las veces, respectivamente (IDEAM y UNAL, 2018). Para la probabilidad propuesta el nivel de significancia fue de 5% ($P < 0.05$) y para el análisis de percepción de la comunidad fue de 10% ($P < 0.10$).

Los valores diarios de la variable temperatura (T °C) abarcaron el periodo 1966 – 2017 y para la precipitación (P -mm) el periodo 1951 – 2017, tomados de las estaciones meteorológicas del IDEAM y la CAR (Tabla 2). Para el análisis de representatividad los valores por años fueron organizados de menor a mayor con el fin de observar si las variables objeto de estudio presentaban cambios. Los datos de precipitación fueron organizados por meses con y sin fenómeno El Niño Oscilaciones Sur (ENOS), con el objeto de comparar entre ellos la oferta de agua para el cultivo. Los valores de meses atípicos fueron eliminados mediante la identificación de los comportamientos anómalos a través del periodo de estudio.

Cálculo de Balance Hídrico

El balance hídrico permite planificar el aprovechamiento del recurso hídrico, identificar periodos de déficit o exceso de agua, planificar y operar los riegos, predecir los rendimientos y los calendarios de manejo de los cultivos (Claro-Rizzo, 1991). En el presente trabajo se utilizó la fórmula Thornthwaite (Claro-Rizzo, 1991) para identificar la Evapotranspiración Potencial (ETP), con un índice calórico de acuerdo con la latitud norte del municipio, y la fórmula de Turc para identificar la Evapotranspiración Real (ETR) (Sánchez, 2017), que para este caso fue: $ETR = P$, con la media de precipitación y temperatura mensuales multianuales de los periodos 1951-2015 y 1966-2017, respectivamente.

El valor óptimo de precipitación fue de 600 mm (Díaz-Valencia, 2016) el cual fue dividido entre 120 días que dura el ciclo de cultivo, resultando así el consumo diario de agua, el cual se multiplicó por el número de días del mes para cuantificar el consumo mensual de agua. Finalmente, se calculó el coeficiente $R > 0.60$ como aquel que determina el periodo adecuado para el desarrollo y producción del cultivo, siendo $R = ETR/ETP$ (Claro-Rizzo, 1991).

Resultados y discusión

Identificación de anomalías climáticas

Precipitación. La variabilidad intranual está en función del sistema ENOS, y fluctúa por encima o por debajo de la tendencia media. Los años con anomalías que presentaron un valor $<5\%$ en el percentil baja precipitación (P) fueron 1992(3%), 1997(0%), 2001(4.5%) y 2015(1.5%), asociados con años con fenómeno El Niño. Por ejemplo, el evento El Niño ocurrido en 1997 fue el mayor registrado por la intensidad y amplitud espacial (Quispe et al., 2009, citado en Rojas-Barbosa, 2011) y el evento de 1992 se relacionó con la persistencia temporal y no con la intensidad. Los años con valores $>95\%$ en el percentil alta

Tabla 2. Localización de estaciones meteorológicas en el municipio de Subachoque donde se tomaron datos para el estudio.

Entidad	Código	Nombre	Latitud	Longitud	Fecha de instalación
IDEAM	21206030	San Cayetano	4°55'00.6" N	74°10'54.0" W	1977
IDEAM	21205960	Tachi	4°56'20.6" N	74°09'09.3" W	1977
CAR	2120044	La pradera	5°0'33"N	74°8'9.9"W	1951
CAR	2120055	La unión	4°52'28.6"N	74°15'4.7" W	1960
CAR	2120557	La primavera	4°5'6.9"N	74°16'12.5"W	1965
CAR	2120766	La pradera	4°5'49.5"N	74°11'45.5"W	1960
CAR	2120756	La muralla	4°52'0.2"N	74°11'45.8"W	1960
CAR	2120800	Puente Manrique	4°54'57.2"N	74°10'43.2"W	1949

(IDEAM, 2018)

precipitación (P) fueron 1955, 1956, 1963 y 2011 con registros entre 95.24 y 123.99 mm sobre el promedio anual del periodo (1951-2017) que fue de 70.35 mm (Figura 1).

Los agricultores de Asocriolla han experimentado épocas secas durante más años que aquellos registrados estadísticamente, esto se explica porque los agricultores aproximan ciertos eventos en un rango de tiempo; por ejemplo, los años en el periodo entre 1990 y 1992, inclusive, se agruparían en la percepción como evento El Niño de 1992 y a medida que los años son más cercanos a la actualidad, la identificación de los eventos extremos se aproxima a la realidad, como lo observado en la sequía de 2015. Los agricultores no perciben los años anómalos con alta precipitación asociados con fenómenos La Niña, ya que la lluvia es favorable para el cultivo.

El comportamiento del clima en Colombia tiene tanto periodos lluviosos como secos, los que definen la variabilidad intraestacional. Tradicionalmente, para el departamento de Cundinamarca, los meses secos son enero, febrero, junio, julio, agosto y en algunas zonas diciembre; siendo marzo, abril, mayo, septiembre, octubre y noviembre los meses secos. Los meses con años evento La Niña generan un aumento de precipitación en ambas temporadas de lluvia, con mayor intensidad en octubre y abril. Montealegre-Bocanegra y Pabón-Caicedo (2000), mencionan que 50% de los episodios La Niña comienzan en el segundo trimestre del año, cuando las lluvias de los dos primeros trimestres son

normales y se intensifican en el cuarto trimestre (septiembre- octubre-noviembre) se debilitan considerablemente en el segundo semestre del siguiente año.

Para identificar si en años normales se siguen presentando tendencias anómalas en las variables de clima, se eliminaron los registros de los años conocidos con eventos ENOS, con base en el valor del percentil y verificación bibliográfica. Fue así como se determinó que en abril no se presentan cambios significativos de las variables con o sin años ENOS, pero en mayo y octubre a partir de 1990 se observó un aumento de eventos El Niño.

Temperatura. La variable temperatura ($T^{\circ}\text{C}$) presenta un comportamiento interdecadal, como consecuencia de las Oscilaciones Decadal de Pacífico (PDO) que explican tendencias entre 20 y 30 años, periodos que constan de una fase cálida y una fase fría. En el periodo de 1967 - 2007 se presentó un PDO cálido, incluyendo el periodo más largo (30 años) de un evento de este tipo, por lo que es evidente un aumento gradual de temperatura en la región (Figura 2). Si la tendencia de aumento en la temperatura continúa, se espera que ocurra déficit de precipitación pluvial para las actividades principales y se puedan presentar procesos de desertización y reducción de la productividad del suelo (IDEAM et al., 2015).

De acuerdo con la variabilidad interanual existe una relación directa entre aumento en el día y caída de la temperatura en la madrugada con sequías por fenómenos El Niño, y temperaturas

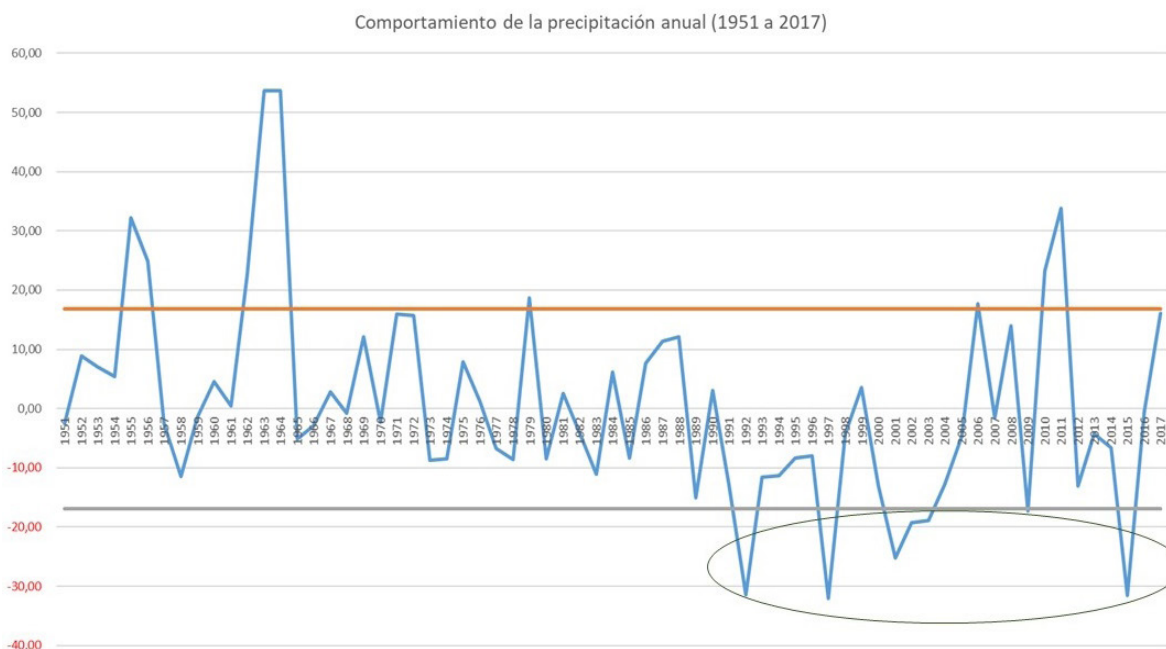


Figura 1. Comportamiento de la precipitación en el periodo 1951 - 2017 Municipio de Subachoque - Cundinamarca (Colombia). IDEAM-Estaciones meteorológicas del municipio de Subachoque.

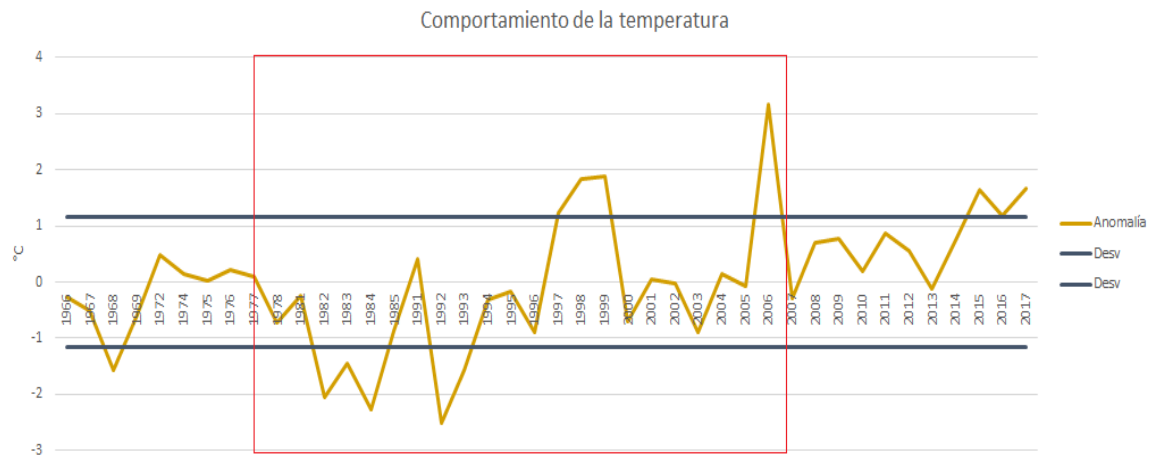


Figura. 2. Comportamiento de la temperatura en el periodo 1966 – 2017. Segmentada por décadas municipio de Subachoque – Cundinamarca (Colombia). IDEAM- Estaciones meteorológicas de Subachoque, Cundinamarca.

bajas en la noche asociadas con eventos La Niña (Montealegre, 2007). En 1992 se presentó un fenómeno El Niño con presencia de heladas, debido a que en temporadas secas no se forman nubes que producen un efecto invernadero en la noche evitando, así, la caída abrupta de la temperatura (Rojas-Barbosa, 2011; Montealegre-Bocanegra y Pabón-Caicedo, 2000). En los periodos 1998-1999, 2006 y 2015 con fenómeno El Niño, se identificó un aumento significativo de la temperatura durante el día, relacionado con la reducción de lluvias.

La influencia de los eventos ENOS también es notoria cuando se identifican eventos atípicos de temperatura en el periodo anual. En enero se presenta un valor atípico de temperatura baja; explicado por la temperatura igualmente baja del aire en la madrugada que puede ocasionar un evento El Niño. La presencia de temperaturas máximas en abril y mayo con una diferencia de hasta 0.6 °C con respecto al promedio anual en el municipio (12.7 °C), se explica por la saturación de humedad en el aire (Pabón et al., 2001).

La temperatura en el altiplano Cundiboyacense presenta un comportamiento monomodal durante el año, lo que define la variabilidad intraestacional. Normalmente se presentan temperaturas altas de diciembre a marzo con máximos en febrero, coincidiendo con la primera temporada seca del año; mientras las temperaturas más bajas ocurren de abril a noviembre, con un pico decreciente en julio. La temperatura más estable (18 – 20 °C) ocurre en noviembre, con oscilaciones entre 6 y 8 °C. En el periodo junio-agosto ocurren las mayores oscilaciones de temperatura, que se intensifican con los años ENOS (Molano y Batista, 1967; Gúzman et al., 2014). Cuando se eliminan estos años en el análisis estadístico se observa que la tendencia de la temperatura anual no

varía significativamente. En enero, abril y mayo se evidencian anomalías por el comportamiento monomodal del clima en la región. A lo largo del registro histórico la temperatura para los meses anómalos presenta un aumento paulatino, por lo que es necesario que los agricultores se preparen para enfrentar esta situación y una posible reducción de oferta hídrica asociada con el evento, en especial en estos meses.

Los agricultores no perciben un cambio significativo de la temperatura ya que no consideran esta variable como un factor importante en el desarrollo óptimo de sus cultivos, y consideran que la variable con mayor incidencia es la precipitación. No obstante, en los talleres se destacó que la helada ocurrida en 2009 sí dañó sus siembras y generó pérdidas considerables. De acuerdo con Bureau of Meteorology (2018) en ese año se presentaron lluvias intensas en enero y febrero como efecto de la culminación de La Niña de 2008 y desde marzo hasta diciembre ocurrió un evento El Niño, lo que afectó las épocas ideales para siembra. Igualmente, los agricultores no perciben variación de la temperatura entre un año y otro, sino en el transcurso de ellos y relacionada con los meses y temporadas de sequía y de lluvia; según estos agricultores los meses con temperatura baja son diciembre- principios de enero y temperatura alta finales de enero y febrero.

Anomalías climáticas e incidencia en el cultivo de papa criolla

Precipitación. El requerimiento óptimo de oferta hídrica durante todo el desarrollo vegetativo y proceso productivo de la papa criolla es, en promedio, entre 600 y 800 mm (Díaz-Valencia, 2016; Doorembos et al., 1986 citado por Díaz-Valencia, 2016). En el municipio de Subachoque

la precipitación promedio anual es de 802 mm, no obstante, el cultivo de papa criolla se desarrolla en un ciclo de 4 meses, por lo que es necesario conocer en cuáles meses existe la mejor oferta de agua proveniente de la precipitación.

Si se suman los promedios mensuales en grupos cuatrimestrales (Figura 3) se observa que el volumen de precipitación pluvial en los meses agrupados no llena los requerimientos de agua por ciclo de cultivo. Los meses con mayor precipitación se relacionan con ambas temporadas de lluvia en el año (promedio de 300 mm por ciclo). En consecuencia, se sugiere iniciar las siembras en marzo y/o agosto, debido a que en la parte media y final del cultivo se presentan los meses con las más altas precipitaciones, independiente de la influencia de los eventos ENOS. La menor precipitación durante el mes de siembra favorece el desarrollo del cultivo, mientras que el aumento constante del agua durante la parte media y final del período de crecimiento y el inicio de la formación de los tubérculos favorece la productividad (Fedepapa, 2009).

Temperatura. La máxima temperatura promedio mensual (20 °C) supera la temperatura óptima (18 °C) del cultivo de papa criolla, con excepción de algunos meses cuando se presentan temperaturas nocturnas <2°C, que perjudican el desarrollo del cultivo y la producción de tubérculos (Figura 4). En todos los meses se presentan temperaturas

máximas durante el día, las que sobrepasan el rango óptimo y reducen la humedad en el suelo y la productividad del cultivo, y favorecen la presencia de plagas. Según Valbuena, 2000 (citado en Fedepapa, 2009) la temperatura >20 °C favorece la producción excesiva de follaje y el desarrollo del tallo y reduce el inicio de la producción de tubérculos.

En la época seca la presencia de vapor seco en el aire durante el día permite una alta incidencia de los rayos del sol directamente sobre la planta y el aumento de la temperatura; mientras que en la noche ocurre una reducción significativa de ésta (García, 1962), por lo que en diciembre, enero y febrero se presentan picos máximos de temperatura durante el día y < 2 °C en horas de la madrugada. En abril y agosto ocurren temperaturas diurnas por debajo del promedio máximo y en horas de la noche >2 °C, gracias a la presencia de nubes y la mayor humedad en el aire en época de lluvia (Figura 4).

Balance hídrico. En la Figura 5 se observa el comportamiento bimodal de la precipitación a través del año, la cual no es suficiente para cubrir los requerimientos mensuales del cultivo. Con excepción de abril, mayo, octubre y noviembre, en los demás meses se presenta déficit de agua en el suelo asociado con la baja precipitación (ETR) y el consumo de agua por el cultivo de papa criolla. Este déficit disminuye en la medida que aumentan las lluvias en abril y mayo y finales

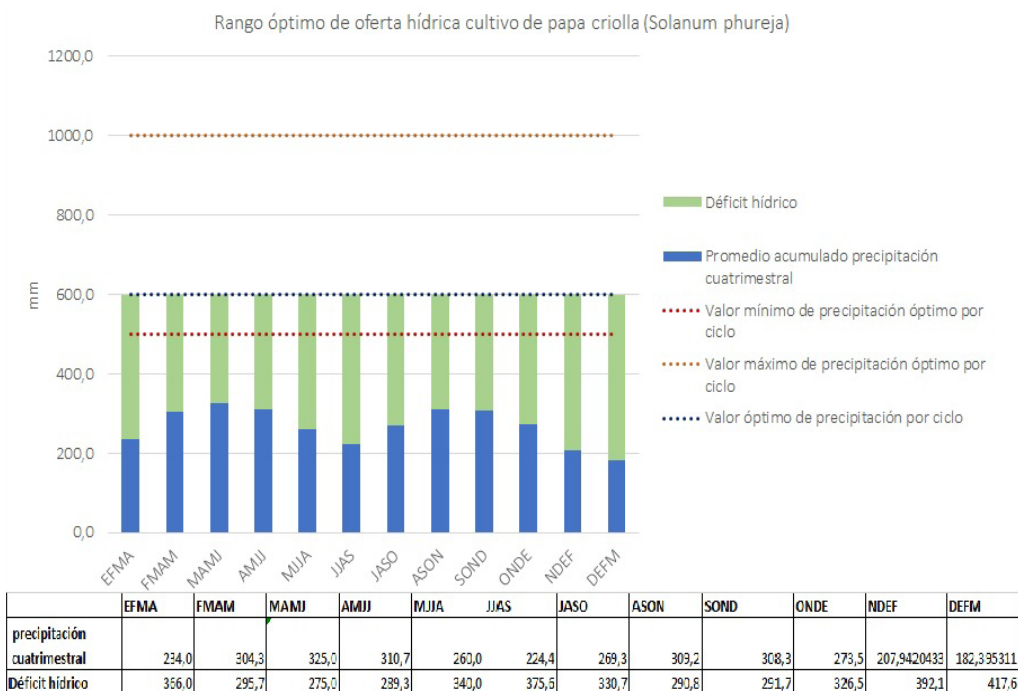


Figura 3. Oferta de agua por precipitación en el municipio de Subachoque (Colombia). Por periodos de cuatro meses vs. rangos óptimos de demanda hídrica del cultivo de papa criolla (*Solanum phureja*). Periodos: marzo-abril-mayo-junio (MAMJ), abril-mayo-junio-julio (AMJJ), mayo-junio-julio-agosto (MJJA), junio-julio-agosto-septiembre (JJAS), julio-agosto-septiembre-octubre (JASO), agosto-septiembre-octubre-noviembre (ASON), septiembre-octubre-noviembre-diciembre (SOND), octubre-noviembre-diciembre-enero (ONDE), noviembre-diciembre-enero-febrero (NDEF) y diciembre-enero-febrero-marzo (DEFM). IDEAM-Estaciones meteorológicas de Subachoque, Cundinamarca.

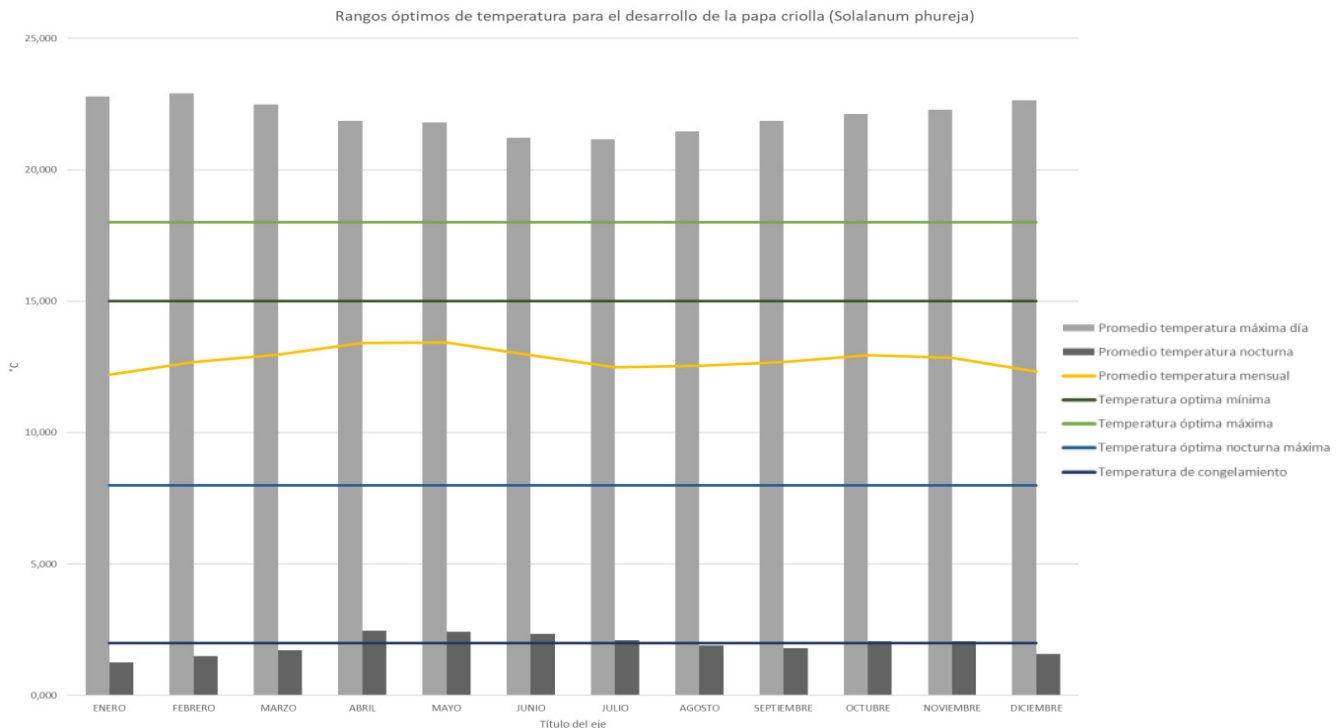


Figura 4. Rango óptimo de temperatura para el desarrollo de la papa criolla (*Solanum phureja*) en el municipio de Subachoque (Colombia).

de septiembre hasta noviembre, periodos en los cuales se acumula humedad en el suelo que ayuda a cubrir la demanda de agua del cultivo.

En abril y mayo y entre finales de septiembre y noviembre el coeficiente $R > 0.60$ indica que son meses aptos para el cultivo, ya que la precipitación y acumulación de agua en suelo cubren la demanda mensual del cultivo de papa criolla. Por tanto, se puede inferir que la siembra por fuera de estos meses, debe contar con riego y balance hídrico diario específico para su localidad y tipo de suelo.

Estrategias para enfrentar los efectos de las variaciones de clima en el cultivo de papa criolla

Los agricultores generalmente toman decisiones para enfrentar los riesgos climáticos basadas en sus conocimientos ancestrales o en sus propias experiencias. Estas estrategias generalmente son conservadoras y no concuerdan con los cambios climáticos (Londoño-Deantonio, 2017; UNEA - FAO, 2011).

En las estrategias identificadas en los talleres con la comunidad se encontró que en los años La Niña, como 2015, y en periodos secos (diciembre-febrero) los agricultores tienden a cambiar sus cultivos hacia la zona de alta montaña con el fin de evitar los efectos negativos de la alta humedad en el suelo o la falta de agua (Hofstede, 2011). No obstante, cuando la época

seca es muy intensa, toman la decisión de no sembrar. Otras estrategias consisten en adquirir semillas resistentes a los cambios contrastantes de temperatura y al estrés hídrico; o en caso extremo, cambiar a la actividad ganadera.

Diseño de la AATP. Los calendarios agrícolas han sido un método tradicional que sirve para relacionar las condiciones de clima con los ciclos productivos o hacer pronóstico sobre estados de tiempo en el futuro (Fernández-Ros, 2010). Es una herramienta de gran aceptación entre los agricultores y brinda información relevante del clima para la toma de decisiones.

En el calendario (SAATP), Asocriolla presenta las relaciones en términos de escasa productividad del cultivo por bajas precipitaciones, heladas y lluvias intensas y prolongadas que afectan la calidad del producto. En él se evidencia la relación de las variables climáticas con las épocas que presentan las mejores condiciones para el cultivo, además de incorporar recomendaciones que ayudan a la toma de decisiones.

En los talleres participativos se evidenció que los meses de siembra se relacionan con precipitación adecuada, calidad de la semilla, acceso a maquinaria, tecnificación, costos y precio de venta del producto; Asocriolla identificó que febrero y julio son las épocas óptimas de siembra, no obstante, el resultado del análisis estadístico y balance hídrico dio como resultado que los meses de siembra deben ser marzo y agosto. Finalmente, se compiló la información

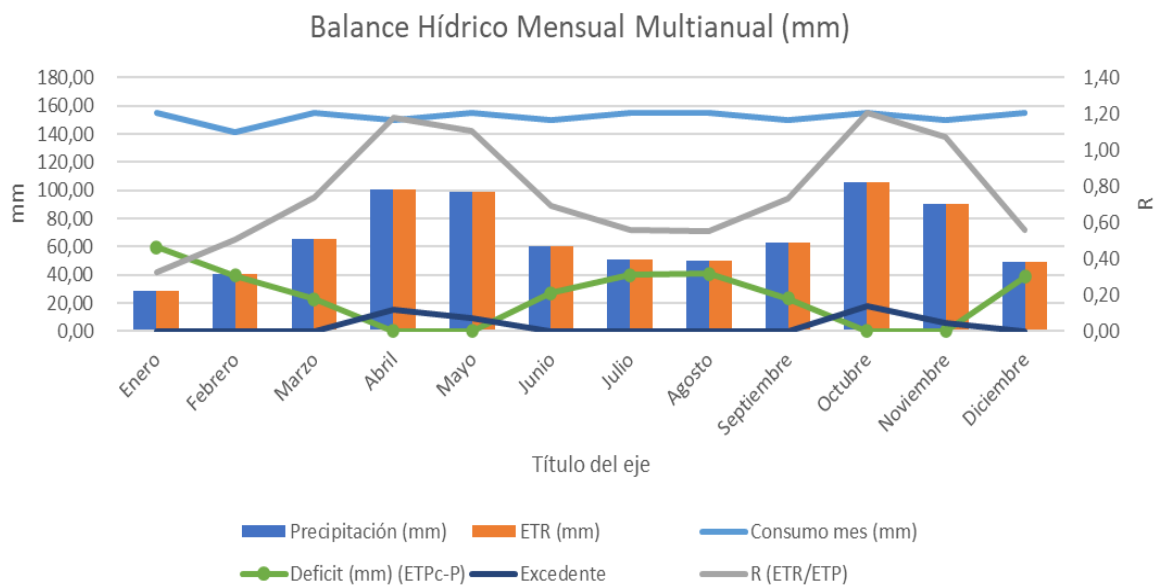


Figura 5. Balance hídrico mensual multianual, municipio de Subachoque (Colombia). Desarrollado con fórmulas de Thornthwaite (Claro, 1991) y Turc (Sánchez, 2017)

de ambos procesos en un calendario para 2019 en donde la primera temporada inicia en febrero y la segunda en julio, diferenciando las mejores fechas de siembra de acuerdo con las variables climáticas precipitación y temperatura.

Conclusiones

Los valores óptimos de precipitación y temperatura para el cultivo de papa criolla en la región de Subachoque son de 600 mm y 18°C durante el día, y entre 8°C y 2 °C en la noche. En el municipio de Subachoque se registran valores cuatrimestrales de 333 mm, lo que indica un déficit hídrico por lluvia de 44%, que puede afectar considerablemente el llenado y la formación de tubérculos, siendo la temperatura promedio durante el día de 20 °C y nocturna de 2 °C. Diciembre a febrero, inclusive, son tradicionalmente secos y registran una temperatura < 2 °C, que congela y quema el tubérculo; por otra parte, la temperatura > 20 °C a través del año afecta la humedad en el suelo, la productividad del cultivo y favorece la aparición de plagas.

Abril y agosto son los meses adecuados para siembra de papa criolla en Subachoque, ya que la caída nocturna de la temperatura no sobrepasa 2 °C, por lo que no ocurren heladas que afectan el cultivo, al mismo tiempo, las temperaturas máximas al inicio de estos meses registraron valores menores respecto a los demás meses, por la formación de nubes y humedad en el aire.

De acuerdo con las encuestas en los talleres participativos, los agricultores no tienen claro los efectos de la variabilidad del clima sobre el cultivo de papa criolla. Para ellos son más importantes la calidad de la semilla, el acceso a maquinaria y la tecnificación del cultivo. Se requiere mayor información en el largo plazo sobre los eventos ENOS y las tendencias en cambios de clima que inciden en el desarrollo óptimo del cultivo.

El diseño SAAT de forma participativa permitió a Asocriolla identificar el riesgo climático, la falta de información local y la necesidad de establecer nuevas acciones para adaptarse a los cambios en el futuro.

Referencias

- Acuerdo No 015. 2000. Por medio del cual se adopta el esquema de ordenamiento territorial del municipio de Subachoque, se clasifican y determinan los usos del suelo y se establecen los sistemas estructurales y planes parciales. <http://www.subachoque-cundinamarca.gov.co/tema/normatividad/acuerdos>
- Ander-Egg, E. 2003. *Repensando la investigación-acción-participativa. Comentarios críticas y sugerencias* (Cuarta ed.). Buenos Aires, Argentina: Editorial Distribuidora Lumen SRL. 157p.
- Ángel, D. 2011. *La hermenéutica y los métodos de investigación en ciencias sociales*. Est. filos, 4, 9-37.
- Bureau of Meteorology. 2018. *ENSO Outlook. An alert system for the El Niño-Southern Oscillation*. Australian Government Bureau of Meteorology. <http://www.bom.gov.au/climate/enso/outlook/#tabs=ENSO-Outlook-history>

- Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT. 2015. *Protocolo de Medición de ensayos y diseño en campo para el cultivo de papa, Cundinamarca: Sibaté y Ubaté*. CIAT. p7-2.
- Correal. 2009. *Propuesta estratégica para la conversión de sistemas productivos de papa criolla (Solanum phureja) de convencional a ecológico desde una perspectiva de gestión ambiental. Caso asociación de productores de papa criolla Asocriolla municipio de Subachoque (Cundinamarca)*. Tesis de grado. Pontifica Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia. 152 p. <http://hdl.handle.net/10554/1269>
- Cideter Ltda. 2000. *Revisión y ajuste EOT municipio de Subachoque: Documento de diagnóstico*. Bogotá, Colombia. 74 p. <https://es.slideshare.net/Prosubachoque/diagnostico-eot-subachoque-junio-02>
- Claro-Rizzo, F. 1991. Balance Hídrico. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT). Santafé de Bogotá. p.v.
- Díaz-Valencia, P.A. 2016. *Evaluación de la tolerancia al estrés hídrico en genotipos de papa criolla (Solanum phureja Juz et Buk)*. Tesis de grado. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. Medellín, Colombia. 102 p. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/55602>
- Federación Colombiana de Productores de Papa. Fedepapa. 2009. *Recopilación de la investigación del sistema productivo para criolla*. Compilación: Clara Janneth Piñeros Niño. Secretaria De Agricultura y Desarrollo Económico. Gobernación De Cundinamarca. Convenio SADE 045/06. 152 p.
- Fernández-Ros, J. J. 2010. *Cabañuelas: ¿hay capacidad predictiva?* Tesis de pregrado. Universidad de Murcia, Murcia, España. 78p. <https://www.divulgameteo.es/fotos/meteoroteca/Caba%C3%B1uelas-capacidad-predictiva.pdf>
- García, L. 1962. *Las heladas*. Hojas divulgadoras. Ministerio de agricultura. Madrid. España. https://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1962_18.pdf
- Hofstede, R. 2011. *Los servicios del ecosistema páramo: una visión desde la evaluación de ecosistemas del Milenio*. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN). Oficina Regional para América del Sur. 18 p. https://www.portalces.org/sites/default/files/references/097_Hofstede%202011b%20Milenio.pdf
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM - Universidad Nacional de Colombia 2018. *Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia*. Bogotá D.C., Colombia. 52 p. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA. 2015. *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100. Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones – Enfoque Nacional – Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogotá, Colombia. 60 p. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022963/escenarios_cambioclimaticodepartamental/nuevosescenariosdecambioclimatico_departamental.pdf
- Londoño-Deantonio, J.C. 2017. *Análisis de estrategia y medidas de adaptación a la variabilidad climática en cultivos de café en Colombia*. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Abierta y a distancia UNAD. Bogotá, Colombia. 62 p. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/13571/79878362.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Montealegre-Bocanegra, J. E.; Pabón-Caicedo, J. D. 2000. La variabilidad climática interanual asociada al ciclo El Niño- La Niña- oscilación del sur y su efecto en el patrón pluviométrico de Colombia. *Meteorología Colombiana*, 2, 7-21. http://gfnun.unal.edu.co/fileadmin/content/geociencias/revista_meteorologia_colombiana/numero02/02_02.pdf
- Montealegre-Bocanegra, J. E. 2007. Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. Actividades desarrolladas en el marco del contrato de prestación de servicios No IDEAM 063. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM - Subdirección de Meteorología. Bogotá, Colombia. 81 p. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o+-+La+Ni%C3%B1a.pdf/232c8740-c6ee-4a73-a8f7-17e49c5edda0>
- Molano, J.; Batista, J. M. 1967. Calendario climatológico aeronáutico colombiano. Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia, 95(25), 1-9. https://www.sogeocol.edu.co/documentos/096_calen_climat.pdf
- Rojas-Barbosa, E. O. 2011. Evaluación del desarrollo del cultivo de papa bajo escenarios de variabilidad climática interanual y cambio climático en el suroeste de la Sabana de Bogotá. Tesis de maestría. Universidad Nacional de Colombia, Colombia. 178p. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/8574>
- Gúzman, D.; Ruiz, J. F.; Cadena, M. 2014. *Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual, a través análisis de componentes principales*. Grupo de Modelamiento de Tiempo, Clima y Escenarios de Cambio Climático Subdirección de Meteorología - IDEAM. Bogotá, Colombia. 55p. <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/i%25C3%25B3n%2Bde%2Bla%2Blluvia%2Ben%2BColombia.pdf/92287f96-840f-4408-8e76-98b668b83664>
- Pabón, J.; Zean, J.; León, G.; Hurtado, G; González, O. 2001. *La atmósfera, el tiempo y el clima*. pp. 34-91 En: Leyva, P. *El medio ambiente en Colombia*. Segunda edición IDEAM. Bogotá, Colombia. 495 p.
- Sánchez, F.J. 2017. Hidrología Superficial y Subterránea. Createspace Independent. Pub., 414 pp. <https://hidrologia.usal.es/>
- Unidad Nacional de Emergencias Agrícolas y Gestión del Riesgo Agroclimática (UNEAG)-Organización de las naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2011). *Sistema de Información para la Gestión del Riesgo Agroclimático: apoyo al diseño e implementación de un modelo de gestión del riesgo agroclimático*. Santiago de Chile, Chile. 48 pp. <http://www.fao.org/3/a-as433s.pdf>