

**Factores que influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo |de Maíz (*Zea mays*) en
diversas zonas altitudinales de Colombia**

**Influential factors in the growth and development of corn (*Zea mays*) cultivation in
various altitudinal areas of Colombia**

Mayorga-Muñoz, Alexander¹, Umbarila-Umbarila, Luis Eduardo²

amayorgam@ucundinamarca.edu.co¹, leumbarila@ucundinamarca.edu.co²

RESUMEN

La altitud es un factor abiótico importante en el sector agrícola, del que dependen condiciones ambientales y climáticas que influyen en el desarrollo de muchos cultivos, como el maíz que, de hecho, es uno de los principales alimentos a nivel mundial y nacional. En Colombia existen variedades de maíz que se cultivan en un rango altitudinal que va desde los 0 hasta los 3.000 m.s.n.m. El objetivo de este artículo fue identificar mediante revisión bibliográfica los factores que influyen en el crecimiento y el desarrollo del maíz (*Zea mays*) en diferentes zonas altitudinales de Colombia. En los resultados se identificó que, dependiendo de la variedad de maíz, el ciclo fenológico puede reflejarse a los 120 días a nivel de mar y en zonas por encima de los 2.600 m.s.n.m. el desarrollo se da en 300 días. Por otro lado, el cultivo no es tolerante a heladas y vientos, ya que puede causar quemaduras o desecamientos afectando la estructura física y procesos reproductivos de la planta. Así mismo, cada 100 metros de altura se disminuye 0.4°C la temperatura, logrando que el maíz ralentice algunos de sus procesos fisiológicos y las temperaturas altas afectan sus procesos de llenado de grano y biomasa. La revisión literaria permitió comprender la relación entre los niveles de altura sobre el nivel del mar con el desarrollo fenológico del maíz, por ello, se recomienda al agricultor escoger una variedad o cultivar que logre rendimientos óptimos en tiempos específicos considerando los gradientes altitudinales.

Palabras Clave. Altitud, clima, factores ambientales, fenología, rendimientos, variables cuantitativas.

ABSTRACT

Altitude is an important abiotic factor in the agricultural sector, on which environmental and climatic conditions depend that influence the development of many crops, such as maize, which is, in fact, one of the main foods globally and nationally. In Colombia there are varieties of maize that are grown in an altitudinal range that goes from 0 to 3.000 m.a.s.l. The aim of this article was to identify through a literature review the factors that influence the growth and development of maize (*Zea mays*) in different altitudinal areas of Colombia. The results identified that, depending on the variety of maize, the phenological cycle can be reflected at 120 days at sea level and in areas above 2.600 m.a.s.l. the development occurs in 300 days. On the other hand, the crop is not tolerant to frost and wind, as it can cause burns or desiccations, affecting the physical structure and reproductive processes of the plant. Likewise, every 100 meters of altitude the temperature decreases by 0.4°C, causing the corn to slow down some of its physiological processes and high temperatures affect its grain and biomass filling processes. The literature review allowed us to understand the relationship between the levels of height above sea level and the phenological development of maize, therefore, it is recommended that the farmer choose a variety or cultivar that achieves optimal yields at specific times considering the altitudinal gradients.

Keywords. Altitude, environmental factors, phenology, quantitative variables, yields, weather.

INTRODUCCIÓN

El maíz es uno de los cereales más importantes a nivel mundial a partir de 1998, superando al trigo en volumen de producción, se siembra en 135 países por sus bondades y múltiples usos en la alimentación y en las grandes industrias (FENALCE, 2012). La producción del maíz en el mundo, creció los últimos años a una tasa anual del 2,41 % en 2009 al 2010 donde alcanzó 795.935.000 toneladas. (Achinte y Bravo, 2013). En Colombia, por su posición y su fisiografía, presenta condiciones de diversidad de climas, cuenta recursos naturales y grandes extensiones de suelo cultivable que favorece a una gran variedad de cultivos, lo que favorece al crecimiento de la agricultura en el país (Hodson de Jaramillo, 2017).

Por otro lado, biológicamente el maíz (*Zea mays* L.) es un cereal que pertenece a la familia de las gramíneas (Tabla 1). Se reconocen variedades y cultivares adaptados en distintos pisos térmicos que pueden tener un ciclo fenológico desde los 80 días hasta los 200 días (Grande y Orozco, 2013).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del maíz.

Taxonomía del maíz	
Reino	Plantae
División	Tracheophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Zea</i> L.
Especie	<i>Zea mays</i> L.

Tomado de *Zea mays* L. Secretariat (GBIF), 2024.

Según Villacís (2021) y Valera (2019), el maíz es una planta herbácea anual con raíces fibrosas, adventicias; con dos sistemas radiculares, encargadas de nutrir a la planta durante

su desarrollo, y sostenerla en condiciones abióticas o climáticas desfavorables. Posee un tallo principal, que se compone de nudos y entrenudos. Las hojas son alargadas, anchas, alternas que se abrazan al tallo, contiene flores femeninas y masculinas. Además, presenta un ciclo fenológico dividido en dos estados (tabla 2).

Tabla 2. Estados vegetativos y reproductivos del maíz.

ESTADOS VEGETATIVOS	ESTADOS REPRODUCTIVOS
VE Emergencia	R1 Sedas
V1 Primera hoja	R2 Ampolla
V2 Segunda hoja	R3 Grano lechoso
V3 Tercera hoja	R4 Grano pastoso
V(n) Enésima hoja	R5 Dentado
VT Panoja	R6 Madurez Fisiológica

Fuente: Semillas Valle, 2022

El desarrollo del cultivo comprende una red de relaciones que integran los factores ambientales, la variación genética y los procesos fisio-morfológicos de la planta. Dentro de estos procesos se encuentran los estadios fenológicos del cultivo (figura 1), que corresponde a la etapa vegetativa (V) que determina el crecimiento antes de la floración y reproductiva (R) que define los estados posteriores a la floración (Semillas Valle, 2022).

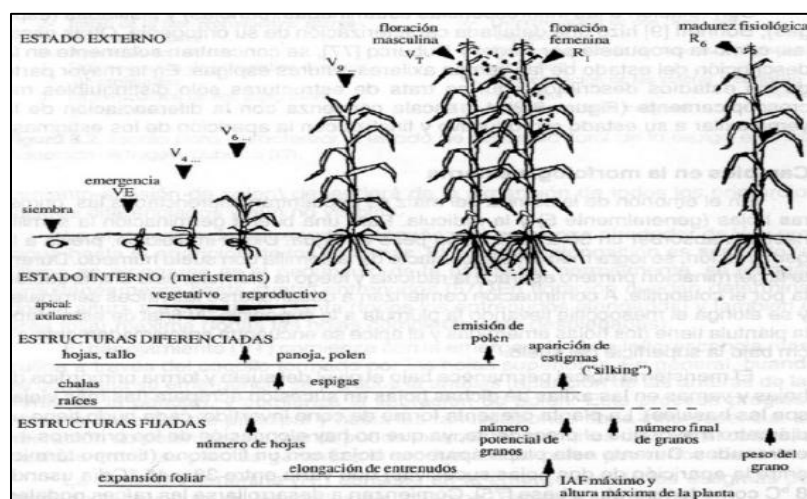


Figura 1. Estadios fenológicos del cultivo de maíz. Fuente: Guacho, 2014.

Así mismo, el maíz considera suelos de tipo franco arcillosos, francos limosos o franco-arcillo-limosos (Benítez, 2022), con buena profundidad, porosidad y drenaje, con capacidad de retención de agua, que no genere encharcamiento, que tenga alto contenido de materia orgánica y un pH de 5,0 a 7,5 (FENALCE, 2012). Aun así, este cultivo se comporta diferente respecto a las variaciones ambientales, repercutiendo directamente en su desarrollo, específicamente en eventos como la germinación, el inicio floral, la floración y la madurez fisiológica y el tiempo de evolución de los eventos, varía según el genotipo, la temperatura, la precipitación, la altitud y el fotoperiodo. (Fuentes, 2002).

Debido a la diversidad de condiciones ambientales en los diferentes pisos altitudinales, se han desarrollado variedades que logran un rango de adaptación y ciclo de madurez, donde cumplen con los rendimientos de una producción. Por ende, este trabajo busca identificar mediante revisión bibliográfica, los factores que influyen en el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays*) en diversas zonas altitudinales de Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la revisión de esta investigación se indagaron diversas fuentes de bibliografía con bases de datos como: Google Académico, Scielo, Scopus, Redalyc.org, Science Direct, FENALCE, ICTA y algunas revistas científicas como: Ciencia y Tecnología Agropecuaria (C&TA), Agronomía Mesoamericana, Ciencia y tecnología agropecuaria, Madera y Bosques, Agrociencias, etc., en los cuales se emplearon palabras claves relevantes para la temática como “maíz”, “cultivo”, “producción”, “altitud”, “Colombia”, “rendimiento”, “*Zea mays*”, “productividad”, etc., con el fin de crear una cadena de información con definiciones y relaciones entre factores ambientales, altitud, desarrollo, ciclo fenológico y sinónimos para encontrar artículos con similitud de términos.

Se realizó un análisis documental a partir de una base de soporte de datos en Excel, como mecanismo de archivo para recopilar para los artículos que se consultaron, esta información se descargó y organizó para tenerla a la mano de forma rápida y sencilla.

Los criterios de elegibilidad para los artículos se basaron en los títulos, resúmenes y conclusiones, excluyendo la información duplicada, aquellos no relacionados a la agricultura, documentos con enfoque diferente al objetivo del estudio, artículos con más de 10 años de publicación, con alguna excepción, respecto a la importancia y relevancia de la información presentada.

RESULTADOS

Colombia está distribuida con una gradiente altitudinal diversa, con topografía montañosa que va hasta los 5.775 m.s.n.m., esto representando una gran diversidad de zonas bajas y altas, las cuales evidencian diversidad de climas y ecosistemas en el país con la presencia de tres cordilleras donde se ubica una altitud promedio de 2.600 m.s.n.m. (MinAmbiente, 2015).

El maíz se produce en diversos niveles altitudinales de Colombia, que inciden en los factores ambientales y en las variedades cultivadas, de hecho, Lizarazo et al., (2022) aseguran que la altura caracteriza el ambiente, teniendo alta influencia en variables como la temperatura ambiental, la densidad del aire y la radiación. Los genotipos (variedades) del maíz se han desarrollado según la zona geográfica, teniendo en cuenta condiciones de altura, temperatura, precipitación y humedad relativa que, derivado de ello se restablece un rango de adaptación y el ciclo de madurez específico. La mayor zona de producción es del trópico bajo, de 0-1.400 m.s.n.m., en estas zonas hay condiciones favorables para las precipitaciones; en la zona del altiplano, a una altura igual o mayor a 1.500 m.s.n.m.,

presenta diversidad de condiciones agroecológicas relacionadas con la altitud, temperatura y precipitación adecuadas para el cultivo de maíz (Fuentes, 2002).

Factores determinantes en el rendimiento del maíz

Según Valera (2019), los factores en el maíz que se pueden categorizar en limitantes son agua y nutrientes, definidores (CO_2 , radiación, temperatura, genotipo) y reductores (malezas, enfermedades, insectos). Por otro lado, se establece que el rendimiento potencial del maíz es determinado por otros factores, que cuando los demás están suministrados, el otro puede definir el potencial productivo del cultivo (Campodonico, 2012). Los FDC (factores que definen el crecimiento) son aquellos que no son controlables como la altitud, la latitud, el ciclo del cultivo, y la época de año (condiciones de secano, precipitación), donde se requiere establecer fechas de siembra y tipo de genotipo para su adaptación, otros como FLC (factores limitantes del crecimiento) que son aquellos que, si no se suministran limitan la producción como el agua y los nutrientes, y finalmente los FRC (factores reductores del crecimiento) que son aquellos que impiden el desarrollo del cultivo como plagas, enfermedades, malezas y contaminantes (Campodonico, 2012).

Así mismo, condiciones ambientales como la radiación, la temperatura y el agua son determinantes en el crecimiento y producción final del maíz (Dickie y Coronel, 2018), así mismo como el genotipo, y la concentración de CO_2 (Acosta, 2019). Generalmente los determinantes del rendimiento de cualquier cultivo son diversos y están estrechamente relacionados entre sí (Castillo y Bird, 2017).

Altitud y temperatura.

La influencia de la altitud sobre los crecimientos de las especies se ve reflejada en factores como la temperatura, la humedad relativa y el suelo, y se expresa en la viabilidad y calidad de la semilla, decrecimiento o impulso del desarrollo vegetativo, en la capacidad de adaptación o pérdida de la vegetación (Romahn et al., 2020).

Es preciso acotar que a mayor altitud menor temperatura, debido a que, por cada 100 metros de incremento en altura, se disminuyen de 0,4°C a 0,7°C dependiendo de la humedad relativa del aire (Romahn et al., 2020). Según Vargas (2017), el maíz requiere una temperatura media de 10 °C para la siembra, con un mínimo de 18 °C durante la floración y un óptimo entre 24 °C y 30 °C. Lo anterior implica que la variación altitudinal genere limitantes ambientales los cuales influyen en la disminución del crecimiento y desarrollo de las plantas (Murga et al., 2021), así como cambios en las hojas (Korner, 1998); todo esto ocasiona problemas debido a sensibilidad del maíz a temperaturas bajas, lo que puede producir eventos de congelamiento, muerte del tejido, además se ralentizan los procesos fisiológicos, como la germinación y la emergencia de las plántulas (Lozano, 2017). En épocas de heladas, los cultivos que se siembran en alturas mayores a los 2.200 m.s.n.m. pueden presentar afectaciones hasta en un 90% (Jasso et al., 2022).

Las temperaturas nocturnas bajas que no se consideren heladas por debajo de los 4°C, prolonga el rendimiento del llenado de grano, el cual a alturas sobre el nivel del mar el llenado se da a los 38 días y sobre los 2.600 m.s.n.m. esta etapa se desarrolla a los 109 días, (FENALCE, 2012).

Así mismo, una investigación realizada por Rattalino y Otegui, (2012), afirmó que la temperatura no presentó cambio o modificaciones sobre el área foliar del maíz, pero sí comprometió el llenado de grano y la producción de biomasa, ya que al presentar

temperaturas altas de hasta 40°C, alrededor de la floración resulta en efectos negativos en el cuajado de granos, debido a la reducción del polen, desestabilización de la membrana. De la misma manera, puede disminuir la fotosíntesis de las hojas mayores, la fotoinhibición, siendo así, los daños irreversibles si las temperaturas altas son prolongadas, llegando a la muerte de los tejidos de la planta (Sáenz, 2018).

No obstante, el maíz en pisos térmicos altos se caracteriza por crecer y desarrollarse a temperaturas bajas en comparación con otros cultivares adaptados a temperaturas altas en media o baja altitud. Los maíces de altitud media son similares a cultivares de altitud baja, la diferencia radica en la reacción hacia enfermedades. Por otro lado, las temperaturas diferentes al rango de adaptación del cultivar afectan el proceso fotosintético, la translocación, la fertilidad de la florecilla, la polinización y otros procesos metabólicos de la planta (Sáenz, 2018).

El aumento de la temperatura en zonas tropicales, con relación con el cambio climático actual, limita el desarrollo del cultivo de maíz, por eso, se debe definir la variabilidad genética del genotipo a utilizar, que tenga la adaptabilidad de la zona donde se sembrará, además de integrar labores agronómicas, minerales y riego (Sáenz, 2018).

Precipitación y estrés hídrico

En cuanto a las precipitaciones, Benítez (2022) sugiere que el maíz requiere un rango de 700 a 1300 mm anuales, aunque FENALCE (2012) reporta necesidades hídricas menores, con un promedio de 550 a 650 mm durante el ciclo vegetativo. El déficit de agua, especialmente en floración, puede reducir el rendimiento hasta un 22% e incluso un 50% en sequías prolongadas (FENALCE, 2012).

El maíz al ser una planta C4 se comporta de una manera más eficaz en condiciones de estrés hídrico. Según Raya Pérez y Aguirre Mancilla (2007), gracias a su fijación de CO₂ es más eficiente durante la fotosíntesis, además de disminuir el uso del agua, ya que tienen una menor transpiración, dado que en condiciones de estrés es capaz de cerrar sus estomas y disminuir la pérdida de agua, ralentizando sus procesos fisiológicos pero a su vez garantizando su existencia mediante esta característica evolutiva al soportar estaciones con precipitaciones escasas.

En regiones donde se manejan regímenes de precipitación bimodales, se debe determinar los meses de sequías, de lluvias y de temperaturas altas, para así, coordinar el tiempo adecuado de siembra y producción. Por esto, es de importancia conocer la diversidad genotípica de adaptación del maíz, y no generar un estrés por sobre oferta hídrica o por golpes de calor a causa de temperaturas elevadas (Mayer et al., 2014). De hecho, en el estudio titulado “Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz” desarrollado por Avendaño et al., (2008), se aclara que las alteraciones que provoca el estrés hídrico en diferentes etapas fenológicas, afectan directamente la productividad del cultivo, ya que demuestran que el rendimiento del grano se ve afectado si la sequía ocurre en la floración o llenado del grano, pues se observa que los gametos son susceptibles al déficit de agua, generando esterilidad en el gametofito masculino. Por otra parte, sí la sequía ocurre en etapas tempranas del desarrollo reproductivo afecta principalmente el número de granos por causa de la absorción del ovario o esterilidad del polen, por la inhibición de fotosíntesis y disminución de fotosintatos a los órganos en desarrollo, aunque existen variedades mejoradas que detienen su crecimiento por efecto de la sequía como comportamiento de resistencia, pero se recupera progresivamente con aplicación de riego al suelo, reiniciando su desarrollo al captar humedad (Avendaño et al., 2008). Sin embargo, en variedades

originales, los rendimientos en biomasa disminuyen en comparación con variedades mejoradas, ya que estas no tienen un mecanismo de resistencia a la sequía (Avendaño et al., 2008).

Por otro lado, en zonas donde la precipitación es mayor, sobre todo en épocas de invierno, el anegamiento tiende a ocasionar pérdidas del cultivo. Los efectos por anegación se ven reflejados en la fisiología de la planta, precisamente por la eliminación de las concentraciones de oxígeno en el suelo, provocando pérdida de metabolitos y minerales por lavado de raíces afectando directamente la longitud de la mazorca, al no lograr absorber y suplir sus necesidades nutricionales, igualmente el exceso de CO² y la sobreproducción de etileno, genera hipoxia y anoxia, ya que no produce el intercambio de gases donde no pueden escapar al estar en un estado anaerobio (Solórzano, 2016). Los resultados de estas afectaciones conllevan a trastornos en los procesos de desarrollo de la planta donde se ralentizan y generan perturbaciones (Pardos, 2004)

Radiación y presión atmosférica

Adicionalmente, otro factor abiótico indispensable para este cultivo es el fotoperiodo y la radiación. Para el maíz se recomienda un número de horas de luz de 6-7 horas al día (Tosne, 2019), según FENALCE (2012), la variedad y el lugar de siembra son factores que pueden llegar a favorecer en épocas de llenado ya que, a mayor luminosidad en esta etapa puede obtener altas producciones de grano, mayor acumulación de materia seca y por ende mejores rendimientos, en el caso del trópico se deben buscar alternativas de siembra, ya que la luz es un factor bastante limitante.

En relación con los cambios espectrales en la radiación, el cambiante es la atmósfera que impide su dispersión, ya que se considera que a mayor altura, la capa atmosférica es más

delgada, lo que posibilita mayor recorrido de luz solar, por ende mayor radiación, lo que obliga a que el manejo de la variable con respecto al cultivo, tendría que desenvolverse entre densidad y fecha de siembra (Salazar et al., 2010), debido a las interacciones climáticas, las gradientes latitudinales, y su alta incidencia es modificada por la altitud (Salve et al., 2019).

A decir, el efecto de luz tiene influencia sobre el crecimiento del cultivo, cuanto mayor es la radiación mayor es la fotosíntesis, mientras que la temperatura define la duración del crecimiento (Fassio et al., 2018). Cabe señalar que el maíz es una planta de tipo C4, que se caracteriza por tener una mejor adaptación a ambientes tropicales y de alta radiación (Raya Pérez y Aguirre Mancilla, 2007). Por esto, de acuerdo con Zermeño y colaboradores (2005), para la fotosíntesis, las plantas utilizan un aproximado de 0,400 a 0,700 μm , definida como la radiación fotosintética activa, lo cual corresponde al 48% de la radiación total incidente, el resto de la radiación tomada induce efectos térmicos, como la temperatura foliar y tasa de transpiración.

La radiación si bien es asimilada eficazmente por la planta en niveles moderados, de hecho, en niveles altos puede causar daños en el material genético de las plantas y enzimas claves para la fotosíntesis, además de causar estrés térmico lo cual afecta el crecimiento y desarrollo (Contreras et al., 2012).

A su vez, la presión atmosférica, favorece el estiramiento y aumento en los cultivos, lo cual está distribuida en toda la tierra, diferenciándose entre presiones altas, que cuentan con poca agua, disminución de precipitaciones, y presiones bajas, que afectan directamente el cultivo, donde se ven involucrados las estomas que son los que regulan la absorción de CO_2 en la planta (BioAgro, 2020).

Efectos de la concentración de CO₂

Las actividades industriales como de agricultura convencional en el mundo han derivado en un aumento de las concentraciones de CO₂. Lo que ha influido en el cambio climático, incrementando los niveles de efecto invernadero. Producto de las actividades agrícolas se generan varios gases, entre ellos los conocidos como dióxido de carbono, metano, monóxido de carbonos y otros, que en grandes concentraciones en la atmósfera puede afectar o beneficiar la productividad vegetal (Sánchez Espino y Larque Saavedra, 2000). Según Huamán y et al., (2021), los niveles de CO₂ varían según la altitud, y así mismo, la capacidad de almacenamiento de carbono orgánico aumenta a mayor altitud, estas diferencias están relacionadas con la cobertura vegetal, también influenciando factores como la temperatura y la materia orgánica del suelo.

A su vez, Sánchez Espino y Larque Saavedra, (2000), en su estudio “Respuesta de plantas de maíz y frijol al enriquecimiento de dióxido de carbono” afirman que debido al metabolismo C₄ del maíz, la tasa fotosintética aumenta de un 48% al 52%, al disponer de mayores concentraciones del CO₂, además se incrementa la eficiencia en la absorción del agua hasta en un 70%; así mismo se presentan mayores tasas de acumulación de biomasa hasta en un 24% durante su estado vegetativo, el peso seco de la raíz aumentó un 85% en la zona aérea como resultado de mayores niveles de CO₂.

¿La altitud es una causal de cambio morfo-fisiológicos en los rendimientos del maíz?

La altitud es fundamental, debido a que tienen relaciones importantes para sus cambios de temperatura, ocasionando efectos en otros factores ambientales. Estos generan cambios que llevan a tener problemas de estrés hídrico, presión atmosférica, radiación solar, provocando

efectos en los diferentes estadios del cultivo, área foliar y acumulación de biomasa (Salve et al., 2019).

Según Murga et al., (2021), el gradiente altitudinal genera límites ambientales que influyen en el desarrollo y crecimiento de las especies vegetales, es decir, la temperatura anual disminuye a la medida que aumenta la altitud, en relación con precipitación, esta presenta máxima pluviosidad en altitudes medias. El suelo en pisos térmicos hasta los 3.000 m.s.n.m. disminuye su pH, además la materia orgánica, el carbón orgánico, el nitrógeno total y la relación C/N aumenta, y sobre esta disminuyen. En cambio, los nutrientes como el potasio (K), el calcio (Ca), el magnesio (Mg) el hierro (Fe) y el aluminio (Al) decrecen conforme aumenta la altura con estrecha relación con las temperaturas bajas y la humedad del suelo.

Sin embargo, Salve et al., (2019), argumentan en un estudio sobre el efecto altitudinal sobre el crecimiento y el desarrollo del maíz, que, a pesar de la influencia altitudinal, el rendimiento del maíz se ve afectado por la altura incluso integrando procesos de riego y fertilización. Es decir, a mayor altitud, también se ve influenciada por el fotoperiodo, que representa la cantidad de brillo solar que se dispone en el día. Por ello, en alturas superiores a los 3.000 m.s.n.m. se evidencia brillo solar constante, exceptuando un periodo de diciembre a abril, mientras que, en alturas de menos de 1.500 m.s.n.m. se alcanzan brillos de sol de 12 horas, lo que promueve mejores rendimientos en alturas por debajo de los 1.500 m.s.n.m. ya que tiene a pesar de las diferencias en radiación que se efectúan en el cambio de altura, se refleja que, a menor altitud, el rendimiento del maíz se triplica.

Por otro lado, FENALCE (2012), afirma que el maíz se desarrolla desde los 0 hasta los 3.000 m.s.n.m., además, los genotipos que crecen al nivel del mar tienden a tener un desarrollo rápido, de alrededor de 120 días, en comparación a los genotipos que crecen por

encima de los 2.600 m.s.n.m. tienen un ciclo fenológico de 300 días, lo que favorece al proceso fotosintético y absorción de nutrientes aumentando el rendimiento del cultivo. En mayor altitud se ralentizan los procesos vegetativos, es decir, se incrementa su periodo vegetativo, además de generar problemas de heladas que acarrearán secamiento del polen y quemaduras en etapas de floración, además, los vientos propios de estas altitudes pueden generar volcamiento y desecamiento del polen en las plantas.

De otro modo, las condiciones de estrés pueden afectar el rendimiento del cultivo de maíz morado, dicho por Medina et al., (2020), donde se evaluó la adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina, allí se obtuvo que la relación entre la altura y el rendimiento no están ligadas, ya que existen variedades que se dan mejor en una zona que en otra independiente de la altura, y relacionan como un factor de disminución de rendimiento, el estrés hídrico que reduce la tasa fotosintética y genera problemas tanto en crecimiento de la planta como en el llenado del fruto.

Variedades en Colombia

La producción de maíz está relacionada con una gran diversidad y consta de variedades, se pueden encontrar en diversas regiones como Orinoquia, Andina y Caribe, lo que es el maíz amarillo y el maíz blanco, las cuales se tienen para el consumo animal y humano, debido a su importancia es base fundamental del sustento de muchos hogares familiares (CIAT y CIMMYT, 2019).

Por ejemplo, el maíz amarillo variedad Corpoica V-114, necesita una temperatura ideal entre los 20° a 30 °C, es muy resistente a plagas y enfermedades, se puede distribuir entre los 0 m y 3.000 m.s.n.m; en cuanto al grano es redondo y duro, de este se puede extraer la fécula de maíz (AGROSAVIA, 2022). Las zonas donde se representa la producción de este

tipo de maíz, es en el Meta, Córdoba, Cesar y Valle del Cauca, con características de crecimiento de la planta hasta 2,93 m, con mazorcas de 23 cm de longitud (Mejía et al., 2021).

Las variedades no solo se distinguen por el desarrollo que ejercen en condiciones tanto climáticas como edáficas, sino por el tipo de grano y el uso que se determine para él, como se estable a continuación, con base en (Sánchez, 2014).

Maíz duro: (*Zea mays indurata* St.): Sus granos son duros y redondos, presenta madurez temprana y bajos rendimientos su uso principalmente en alimentos humanos, como la fécula de maíz, se siembra en un área más o menos de 30 millones de hectáreas en los trópicos.

Maíz reventón (*Zea mays everta* St.): Posee más dureza en el endospermo, los granos son pequeños, redondos y oblongos, cuando estos son sometidos al calor se revientan produciendo las denominadas palomitas, normalmente se siembra a pequeña escala en los trópicos.

Maíz dentado (*Zea mays indentata* St.): Tiene forma de diente por esto su nombre, su endospermo es blando normalmente utilizado para grano y ensilaje, por sus características fisiológicas tiende a hacer más susceptible a ataques de hongos o insectos, aún con esta limitante su rendimiento es bueno. Se siembra en casi 30 millones de hectáreas en los trópicos.

Maíz harinoso (*Zea mays amilacea* St.): Es uno de los maíces con mayor contenido de almidón blando, lo que lo hace muy susceptible a patologías como gusanos e insectos.

Maíz ceroso (*Zea mays ceratina* Kul.): Su almidón está compuesto por amilopectina lo que proporciona su característica gomosa.

A continuación, se identifican algunos genotipos utilizados para cultivo de maíz amarillo y blanco en Colombia (Tabla 3).

Tabla 3. Genotipos de maíz amarillo y blanco existentes en Colombia y las regiones donde se adaptan.

GENOTIPO	CREADOR	ZONA	RANGO ALTITUDINAL
MAÍZ AMARILLO			
CORPOICA V-114	CORPOICA - CIMMYT	Caribe	0 a los 600 m.s.n.m.
ICA V- 109	ICA	Caribe	0 a los 1.000 m.s.n.m.
ICA V-305	ICA - FENALCE -CENICAFE	Eje Cafetero y Valle del Cauca	0 a los 1.600 m.s.n.m.
ICA V-304	ICA	Clima medio	1.200 a los 1.700 m.s.n.m.
CORPOICA V 306	CORPOICA - ICA	Departamentos de Antioquia, Caldas, Risaralda, Quindío, Huila y Cundinamarca	Mayor a los 1.800 m.s.n.m.
FNC 31AC	CIMMYT - FENALCE	Zona cafetera y andina	1.200 a los 1.800 m.s.n.m.
SV 1020	SEMILLAS VALLE S.A.	Santanderes, Valle del Cauca, Caribe húmedo y zonas cafeteras.	0 a los 1.800 m.s.n.m.
MAÍZ BLANCO			
CORPOICA V-159	CORPOICA - CIMMYT	Caribe	0 a los 600 m.s.n.m.
ICA V-156	ICA	Costa Atlántica y Llanos Orientales	0 a los 1.000 m.s.n.m.
UDENAR GRANIZO 100	UNIVERSIDAD DE NARIÑO	Departamento de Nariño	2.500 a los 2.900 m.s.n.m.
SGBIO H30	CIMMYT	Región Andina y zonas cafeteras	800 a los 1.800 m.s.n.m.
DK-415 RR2	MONSANTO COMPANY	Valle del Cauca, Orinoquia y Caribe	0 a los 1.800 m.s.n.m.
ICA V - 258	ICA	Valle del Cauca	Máximo 1.500 m.s.n.m.

Tomado de (Achinte y Bravo, 2013; ICA, s.f.)

Según el registro nacional de cultivares del ICA, existen 374 variedades e híbridos de maíz caracterizados en Colombia, adaptados a diferentes condiciones ambientales y con capacidades de resistencia o desarrollo fenológico. Las adaptaciones se han establecido por zonas geográficas con factores ambientales determinados, de tal manera que se pueden reconocer dentro de la totalidad de las variedades del maíz que el 46 % de estas (173 variedades) se adaptan a zonas del valle geográfico del río Cauca, en pisos térmicos de entre 300-1.200 m.s.n.m.; el 42 % (158) se adaptan al valle geográfico del río Magdalena entre los 300-800 m.s.n.m. Por otro lado, el 52% (196) de las variedades son adaptables en zonas del Caribe húmedo entre los 0-600 m.s.n.m.; en el Caribe seco solo el 1.9% (7 variedades) se adaptan a esa zona como lo son SOMMA, SYN750, PIONEER 408W, etc. En otras zonas, como la Orinoquía, el 42,7% (160 variedades) se desarrollan entre los 0-300 m.s.n.m.; un 26% (99 variedades) son para zonas del área cafetera en alturas desde los 1.200-1.800 m.s.n.m.; un 11% (40) se desarrollan en zonas de la región Andina entre los 1.800 a 2.800 m.s.n.m., solo un 9% (34) se adaptan a altura de 600-1.200 m.s.n.m. en el Valle del Cauca y un 2% (8) se consideran variedades especiales para exportación. Finalmente se deduce que un 14%, es decir 52 variedades se adaptan a diferentes zonas como el valle geográfico del río Cauca, el valle geográfico del río Magdalena, el Caribe húmedo, la Orinoquía y el área cafetera ya que poseen condiciones fisiológicas que les permite desarrollarse en diferentes altitudes desde el nivel del mar hasta los 1.800 m.s.n.m., (ICA, s.f.).

Producción y rendimiento en Colombia

Colombia para el año 2015 tuvo un aumento en área cosechada 313.820 hectáreas distribuidas en 238.238 hectáreas de maíz amarillo y 75.582 en maíz blanco. (Rodríguez et

al., 2018). También se evidenció una producción de 1,6 millones de toneladas de maíz, lo que establece un mercado del 21 %, pero no satisface la demanda; así que, un 79 % se suple con maíz importado, pero podría producirse en el país. (FENALCE, 2022).

A causa de la demanda nutricional, el bajo nivel de producción interna, baja disponibilidad de genotipos de rendimiento, y poca transferencia tecnológica, no se permite llevar buenas prácticas agrícolas, lo cual, hace necesario implementar estrategias para lograr una productividad eficiente y adaptación en el mercado (Rodríguez et al., 2018).

Según Nieto (2018), en Colombia existe el cultivo de maíz tradicional y el tecnificado, entendiendo que el tradicional comúnmente se utiliza más para autoconsumo, no necesitando de semilla certificada, ni el uso de muchos agroquímicos. El cultivo tecnificado, por el contrario, sí requiere el uso de semilla certificada y debe cumplir con parámetros estandarizados para su comercialización, usados en su mayoría para concentrados de consumo animal como el maíz amarillo e industrial, desplazando el maíz blanco, el cual es más común en consumo humano (FENALCE, 2010).

Según datos estadísticos de FENALCE para 2022, el maíz blanco tecnificado tuvo una producción de 224.337 toneladas en un área de 37.017 hectáreas (rendimiento de 6,06 ton/ha), y de maíz amarillo tecnificado, con 317.969 toneladas en un área de 59.863 hectáreas sembradas (rendimiento de 5,31 ton/ha).

Es decir, el 71,5% del total del maíz nacional es amarillo, con una producción de 1.223.503 t, y un rendimiento de 3,9 ton/ha; el maíz blanco resulta en 28,5% con una producción de 400.402 t y un rendimiento de 3,8 ton/ha, pero no alcanza a cumplir las necesidades de la demanda alimentaria, por ello, es el país suramericano con mayor volumen de importación y séptimo a nivel mundial (Tapia et al., 2022), en contraste a otros países como México,

cuyo porcentaje de producción es del 11% donde su insatisfacción en oferta es mayor, de un 89%, por lo que la demanda se suple con importaciones. (SIAP, 2023).

El maíz en general tiene gran potencial de rendimientos por hectárea, por su alta adaptabilidad a diferentes alturas, precisamente por la brecha que presenta con otros factores ambientales como temperatura, humedad relativa, recurso agua, radiación, etc., siendo uno de los monocultivos con gran influencia e importancia en la agricultura (FENALCE, 2012).

Por otro lado, la producción nacional de maíz se concentra en mayor parte en las regiones de la Orinoquía, Andina y el Caribe. En el 2016, solo 5 departamentos de los 32 representaban el 63% de la producción a nivel nacional como lo son Meta de la Orinoquía, Vichada de la región Amazónica, Valle del Cauca y Tolima de la región Andina y Córdoba del Caribe, Pero solamente Meta y Tolima han registrado aumentos en un 100% y 59% en su producción desde 2007 a 2016 gracias a un 70% de fincas con tecnificación y un 30% con modelo tradicional, (CIAT & CIMMYT, 2019).

Los rendimientos más altos se reflejan en zonas del Valle del cauca con 4.3 t/ha y el Meta con 4.1 t/ha y los menores rendimientos son del chocó con 0.6 t/ha, San Andrés y Providencia con 1 t/ha y Magdalena con 2.1 t/ha que son característicos de sistemas de producción no tecnificados (CIAT & CIMMYT, 2019).

De manera más detallada, se encuentran que el 73% del total de los municipios que producen maíz, tienen rendimientos muy bajos (>3.6 t/ha) produciendo solo el 43% del maíz del país. A su vez, 246 municipios soportan los altos rendimientos, mayores al promedio de 5.4 t/ha cumpliendo con un 57% de la producción total y estos municipios pertenecen a departamentos como Caldas, Huila, Córdoba, Valle del Cauca, Tolima, Meta y

Cauca, estos 5 últimos considerados los departamentos con mejores rendimientos a nivel nacional. (CIAT & CIMMYT, 2019).

A lo que se refiere de los rendimientos de acuerdo con maíz amarillo, según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en 2021, los departamentos con mayor producción fueron la altillanura del Meta con 223.493 t y un rendimiento de 7.34 t/ha, seguido del Tolima con 125.050 t y rendimientos de 6.19 t/ha, también Córdoba con 115.940 t de producción y 3.18 t/ha de rendimiento, continuando con el piedemonte del Meta con 88.285 t y 6.59 t/ha. Los menores productores de maíz los representan Boyacá con 6.720 t de producción y 0.69 t/ha de rendimiento, al igual que, el Magdalena con 5.100 t y 3.92 t/ha y finalmente el Atlántico con 4.300 t y 3.91 t/ha de rendimiento (MINAGRICULTURA, 2021).

Por último, los departamentos con mejor producción de maíz blanco son Córdoba con 107.910 t y 3.87 t/ha de rendimiento, Valle del Cauca con 84.099 t producidas y 7.99 t/ha de rendimiento, seguido de Tolima y Huila con producciones de 39.050 t la primera y 37.520 t la segunda y sus rendimientos de 5.31 t/ha y 2.98 t/ha, así mismo, la altillanura del Meta también tiene buena producción de este tipo de maíz con 34.212 t y 7.28 t/ha, por otro lado, los departamentos de Bolívar y Atlántico paralelamente al maíz amarillo, son los de menor producción con 2.900 t y 2.300 t con rendimientos de 3.05 t/ha y 3.07 t/ha confirmado que muchos departamentos no se sobrepasan los promedios de producción del maíz a nivel nacional (MINAGRICULTURA, 2021).

CONCLUSIONES

El maíz es uno de los cultivos en Colombia con mayor rango de adaptación en distintos rangos altitudinales, debido al material genético desarrollado en el país que resiste a

condiciones ambientales por fuera de un rango óptimo, logrando un crecimiento productivo con características fisio-morfológicas de calidad.

El factor que afecta en mayor proporción a este cultivo es la altitud, ya que a menor altura se evidenció un mayor porcentaje de llenado de grano y mayor producción de biomasa. Además, el cultivo de maíz requiere altos niveles de brillo solar, lo que promueve mejores rendimientos agronómicos; es importante resaltar que el estrés térmico en la planta puede afectar el cultivo, por ende, se debe tener un control de temperatura acorde tanto para la siembra, la floración y el llenado de grano lo que lleva a una mayor producción.

El uso de material certificado se destaca por la capacidad de crecimiento radicular de la planta y sobre todo para su proceso metabólico de transpiración e intercambio de gases, así como mejorar el proceso fotosintético, principalmente en zonas con mayores concentraciones de dióxido de carbono. En regiones donde se cuenta con menor CO₂, hay mayor biomasa y desarrollo radicular en las primeras etapas de la planta; por ello, se concluye que la altitud está estrechamente relacionada con el crecimiento y desarrollo de las diferentes etapas fenológicas del cultivo del maíz.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, por permitirnos culminar un ciclo de nuestras vidas. A todas las personas que han sido parte fundamental en la realización de este trabajo investigativo. A la Universidad de Cundinamarca, a nuestro tutor, el docente Rubén Darío González Román por su orientación, y apoyo a lo largo de este proceso, sus conocimientos expertos, paciencia y motivación han sido fundamentales para el desarrollo y la finalización de esta investigación. A nuestros jurados, los docentes Martha Isabel Vargas Mora y Diego Alexander Hernández Contreras por su experiencia, dedicación, tiempo y valiosas

observaciones que enriquecieron enormemente la investigación y contribuyeron significativamente a su calidad final. A nuestras familias, por ser la mayor fuente de apoyo, por su amor incondicional, comprensión, motivación e inspiración a lo largo de la carrera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Achinte, A. E., & Bravo, E. E. (2013). *Evaluación de la producción de maíz (Ica V-305) Zea Mays, con cinco abonos orgánicos: Inagro, Gallinaza, Porquinaza, Bovinaza, Conejaza, en la vereda Cajete, Municipio de Popayán*. Obtenido de Universidad del Cauca: <http://repositorio.unicauca.edu.co:8080/xmlui/handle/123456789/862>
- Acosta, M. (2019). *Rendimiento Potencial de Maíz*. Obtenido de Departamento de producción vegetal: https://www.produccionvegetalunrc.org/images/fotos/614_Rendimiento%20Potencial%20de%20Maiz_19_20_UNRC.pdf
- AGROSAVIA. (2022). *Maíz amarillo Corpoica V-114*. Obtenido de Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.: https://www.agrosavia.co/media/e4opgv4f/2-ficha_ma%C3%ADz-v-114.pdf
- Avendaño, C. H., Molina, J. D., & et al. (junio de 2008). *Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en Maíz*. Obtenido de Agronomía Mesoamericana - Universidad de Costa Rica: <https://www.redalyc.org/pdf/437/43711424004.pdf>
- Benítez, O. B. (2022). *Influencia de los factores climáticos en la producción de maíz en México*. Obtenido de El semestre de las especializaciones 3:

https://www.depfe.unam.mx/especializaciones/revista/3-2-2022/03_EAE_Benitez-Lopez_2022.pdf

BioAgro. (18 de mayo de 2020). *Presión atmosférica*. Obtenido de IER Congreso Internacional Online y Feria Virtual - BioAgro: <https://acortar.link/qbLwfh>

Campondonico, F. (2012). *Evaluación de rendimientos de maíz en función de distintas densidades de siembra, en el partido de Lima, Provincia de Buenos Aires*. Obtenido de Repositorio Facultad de ciencias agrarias UCA - Pontificia Unviersidad Católica Argentina: <https://repositorio.uca.edu.ar/bitstream/123456789/373/1/doc.pdf>

Castillo, R., & Bird, R. (04 de octubre de 2017). *Análisis de los determinantes del rendimiento del maíz en Nicaragua*. Obtenido de Revista de Economía y Finanzas BCN: <https://acortar.link/XOeSN3>

CIAT, & CIMMYT. (julio de 2019). *Maíz para Colombia. Visión 2030*. Obtenido de Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya: <https://fenalce.co/wp-content/uploads/2021/10/Maiz-para-Colombia.pdf>

Contreras, A., Martínez, C., & Estrada, G. (2012). *Eficiencia en el uso de la radiación por híbridos de maíz de Valles Altos de México*. Obtenido de Rev. Fitotec - Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma del Estado de México: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rfm/v35n2/v35n2a8.pdf>

DANE. (mayo de 2013). *Cuenta Satélite Piloto de la Agroindustria (CSPA): Maíz, sorgo y soya y su primer nivel de transformación 2005-2009*. Obtenido de Departamento Administrativo Nacional de Estadística: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/agroindustria/Doc_Metodologico_%20Maiz_Sorgo_Soya_def_23_05_13.pdf

- Dickie, M. J., & Coronel, A. (2018). *Relación estadística entre los rendimientos de maíz y la ocurrencia de deficiencias hídricas en el Depto. Rosario*. Obtenido de Ciencias agronómicas: <http://hdl.handle.net/2133/13745>
- Fassio, A., Ibañez, W., & Fernández, E. (febrero de 2018). *El cultivo de maíz para la producción de forraje y grano y la influencia del agua*. Obtenido de Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria: <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/st-239-2018.pdf>
- FENALCE. (2010). *El cultivo de maíz, historia e importancia*. Obtenido de AGROSAVIA, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1004>
- FENALCE. (2012). *Aspectos técnicos de la producción de maíz en Colombia*. Obtenido de Repositorio AGROSAVIA: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/19418/45021_60774.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- FENALCE. (20 de julio de 2022). *Plan para avanzar con maíz de producción local en la sustitución competitiva de importaciones hacia la autosuficiencia alimentaria (2023-2026)*. Obtenido de Federación Nacional de Cultivadores de Cereales, Leguminosas y Soya: <https://fenalce.co/wp-content/uploads/2022/08/PROPUESTA-GREMIAL-MAIZ-HAMBRE-EN-COLOMBIA-2022-1.pdf>
- FENALCE. (s.f.). *Histórico de área, producción y rendimiento, Cereales, Leguminosas y Soya*. Obtenido de Estadísticas FENALCE, Cultivamos seguridad.: <https://acortar.link/fHVUxH>

- Fuentes, M. R. (2002). *El cultivo de maíz en Guatemala, Una guía para su manejo agronómico*. Obtenido de Instituto de ciencias y tecnologías agrícolas ICTA:
<https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Maiz/cultivoMaizManejoAgronomico.pdf>
- GBIF. (s.f.). *Taxonomía Zea Mays*. Recuperado el 23 de septiembre de 2023, de Taxonomía de la columna vertebral de GBIF. ORG:
<https://doi.org/10.15468/39omei>
- Grande, C. D., & Orozco, B. S. (junio de 2013). *Producción y procesamiento del maíz en Colombia**. Obtenido de Revista Científica Guillermo de Ockham.:
<https://doi.org/10.21500/22563202.604>
- Guacho, E. F. (2014). *Caracterización Agro-morfológica del maíz (Zea Mays L.) de la localidad de San José de Chazo*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3455>
- Hodson de Jaramillo, E. (2017). *Seguridad alimentaria y nutricional en Colombia*. Obtenido de Alliance Biodiversity y CIAT:
<https://alliancebiodiversityciat.org/publications-data/seguridad-alimentaria-y-nutricional-en-colombia>
- Huamán, M. L., Espinoza, F., & et al. (10 de marzo de 2021). *Influence of altitude and soil characteristics on organic carbon storage capacity of high Andean natural pastures*. Obtenido de Scientia Agropecuaria:
<http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v12n1/2306-6741-agro-12-01-83.pdf>
- ICA. (s.f.). *Registro Nacional de Cultivares*. Recuperado el 20 de marzo de 2024, de Instituto Colombiano Agropecuario.

- Jasso, M., & et al. (agosto de 2022). *Pérdida de superficies cultivadas de maíz de temporal por efecto de heladas en el valle de Toluca*. Obtenido de Revista mexicana de ciencias agrícolas: <https://doi.org/10.29312/remexca.v13i2.2587>
- Korner, C. (Julio de 1998). *Una reevaluación de las posiciones de los límites de los árboles a gran altura y su explicación*. Obtenido de Springer Link: <https://link.springer.com/article/10.1007/s004420050540>
- Lizarazo, P. A., Moreno, L. P., & et al. (12 de mayo de 2022). *Rendimiento y variables poscosecha de cultivares de papa del grupo Phureja en ambientes contrastantes por altitud de la región Andina central de Colombia*. Obtenido de Ciencia y Tecnología Agropecuaria - CTA: https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2197
- Lozano, A. L. (2017). *Desempeño de la planta *Lepidium meyenii* walp. “maca” en parcelas experimentales localizadas en diferentes altitudes: La influencia del suelo y la procedencia de las semillas*. Obtenido de Universidad Peruana Cayetano Heredia: <https://hdl.handle.net/20.500.12866/771>
- Mayer, L., Rattalino, J., & et al. (2014). *Efecto de las altas temperaturas en la productividad de maíz*. Obtenido de Congreso Aapresid: https://spv.string-agro.com/archivo/aapresid2012/ponencias/C20_010.pdf
- Medina, A., Narro, L. A., & Chávez, A. (15 de junio de 2020). *Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina*. Obtenido de Scientia Agropecuaria: <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v11n3/2077-9917-agro-11-03-291.pdf>
- Mejía, S. L., Tapia, J. J., & et al. (2021). *Corpoica V-114 y Corpoica V-159 Variedades de maíz de alta producción para la región Caribe de Colombia*. Obtenido de

- AGROSAVIA - Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria:
<https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7404142>
- MINAGRICULTURA. (2021). *Maíz, Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales*.
Obtenido de Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural:
<https://acortar.link/KiO7JL>
- MinAmbiente. (11 de diciembre de 2015). *Colombia país de montañas*. Obtenido de
Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible:
[https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2170-
colombia-pais-de-montanas](https://archivo.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2170-colombia-pais-de-montanas)
- Murga, H., Coronado, M., & et al. (30 de diciembre de 2021). *Altitudinal gradient and its influence on the edaphoclimatic characteristics of tropical forests*. Obtenido de
Revista Madera y Bosques: <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732271>
- Nieto, M. C. (2018). *Impacto del TLC firmado entre Colombia y Estados Unidos sobre el sector maicero de Colombia*. Obtenido de Universidad de los Andes - Repositorio institucional Séneca: <http://hdl.handle.net/1992/40365>
- Pardos, J. (2004). *Respuestas de las plantas al anegamiento del suelo*. Obtenido de Invest Agrar: Sist Recur For: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1023219>
- Puerta, G. I. (Julio de 2016). *Calidad física del café de varias regiones de Colombia según altitud, suelos y buenas prácticas de beneficio*. Obtenido de Revista Cenicafé 67 (1): <http://hdl.handle.net/10778/676>
- Rattalino, J. I., & Otegui, M. E. (29 de marzo de 2012). *Estrés por calor en híbridos de maíz de zonas templadas y tropicales: diferencias en el crecimiento de los cultivos, partición de biomasa y uso de reservas*. Obtenido de Investigación de cultivos extensivos.: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2012.02.009>

- Raya Pérez, J., & Aguirre Mancilla, C. (2007). *Aparición y evolución de la fotosíntesis*. Obtenido de Centro de investigación aplicada del Instituto Superior de Uruapan: <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v14n1/v14n1a8.pdf>
- Rodríguez, H., Higueta, J., & Bonilla, K. (septiembre de 2018). *Innovación de la industria de la arepa de maíz en Colombia*. Obtenido de Universidad de Antioquia: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/view/336226/20791755>
- Romahn, L. F., Rodríguez, D. A., & et al. (2020). *Altitudinal range: forest vigor factor and determinant in the natural regeneration of the sacred fir*. Obtenido de Ciencias de la salud, biológicas y químicas: <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2020.22.72751e22.72751>
- Sáenz, A. E. (2018). *Efecto de déficit hídrico y temperatura ambiental sobre el cultivo de maíz en el Ejido de los Santos*. Obtenido de Universidad de Panamá: http://up-rid.up.ac.pa/1386/1/ana_saez.pdf
- Salazar, G. A., Hernández, A. L., & Saravia, L. (noviembre de 2010). *Practical models to estimate horizontal irradiance in clear sky conditions: preliminary results*. Obtenido de Repositorio Institucional CONICET Digital: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/14546>
- Salve, D., Antonietta, M., & Salazar, G. (noviembre de 2019). *Diseño de experiencia de cultivo en sitios de altura para evaluar efectos altitudinales sobre crecimiento y desarrollo del maíz. La radiación solar como factor de estrés*. Obtenido de Conferencia: XLII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente: <https://acortar.link/8J8FfS>
- Sánchez, I. (2014). *Maíz I (Zea mays)*. Obtenido de Revista REDUCA (Biología): <https://revistareduca.es/index.php/biologia/article/view/1739>

- Sánchez-Espino, P., Larqué-Saavedra, A., & et al. (2000). *Respuesta de plantas de maíz y frijol al enriquecimiento de dióxido de carbono*. Obtenido de Agrociencia Colpos: <https://agrociencia-colpos.org/index.php/agrociencia/article/view/34/34>
- Semillas Valle. (12 de mayo de 2022). *Fenología y Fisiología en Cultivos de Maíz*. Obtenido de <https://semillasvalle.com/site/blog/fenologia-y-fisiologia-en-cultivos-de-maiz/>
- SIAP. (08 de junio de 2023). *Producción Agrícola*. Obtenido de Gobierno de México, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera: <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>
- Solórzano, D. (2016). *Tolerancia del cultivo de maíz (Zea mays L) a diferentes condiciones de inundación en su fase de crecimiento para la determinación del tiempo de drenaje en la zona de Babahoyo*. Obtenido de Universidad técnica de Babahoyo: <https://acortar.link/uuFbaH>
- Tapia, J. J., Atencio, L., & et al. (11 de abril de 2022). *Situación actual y avances tecnológicos para mejorar la productividad del cultivo de maíz (Zea mays L.) en Colombia*. Obtenido de Revista Avances en Ciencias e Ingenierías.: <https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2585>
- Terra, M. d., Mello, J. M., & et al. (2015). *Influencia topopedagógico-climática en la vegetación de un fragmento de Mata Atlántica en la Serra da Mantiqueira, MG*. Obtenido de Revista Ambiente y Agua: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1705>
- Tosne, L. V. (2019). *Establecimiento de un sistema de producción de 1 hectárea de maíz amarillo (Zea mays L.) con fines comerciales en Popayán – Cauca*. Obtenido de Ciencia Unisalle:

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1142&context=ingenieria_agronomica

- Valera, P. O. (2019). *Efecto de la altitud en el rendimiento y en el contenido de antocianinas de maíz morado (Zea mays L.) en el distrito de Ichocán*. Obtenido de Universidad Nacional de Cajamarca: <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3698>
- Vargas, K. (2017). *Eficiencia del maíz (Zea mays) cultivado con abonos orgánicos (compost y humus hechos a partir de restos de flores) en la disminución de las concentraciones de plomo de suelos contaminados por el pasivo ambiental minero Catac–Recuay, Ancash 2017*. Obtenido de Universidad César Vallejo: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/3615>
- Villacís, J. Y. (2021). *Evaluación de las características morfológicas y agronómicas del cultivo de maíz (Zea mays l.), sometido a tres densidades de siembra en la zona de ventanas, provincia de los ríos*. Obtenido de Universidad Técnica Estatal de Quevedo UTEQ: <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/6154>
- Zermeño, A., Montemayor, J., & et al. (2005). *Reflectividad y absortividad de la radiación en tres densidades de planta y su relación con el rendimiento de maíz (variedad cafime)*. Obtenido de Agrociencia: <https://www.redalyc.org/pdf/302/30239305.pdf>