



Caracterización fenológica y morfométrica de un rodal semillero de *Cajanus cajan* en un clima AW₂

Phenological and morphometric characterization of a *Cajanus cajan* seedling stand in an AW₂ climate

Caracterização fenológica e morfométrica de um povoamento de plântulas de *Cajanus cajan* num clima AW₂

Manuel Villarruel-Fuentes^{1*}, Ignacio Garay-Peralta², Rómulo Chávez-Morales³

*Autor de Correspondencia: dr.villarruel.fuentes@gmail.com

Recibido: 07 de febrero de 2025 Aceptado: 23 de junio de 2025

Resumen

Las actuales condiciones edafoclimáticas en los trópicos han erosionado genéticamente la biodiversidad local. Con base en ello se realizó la exploración de un rodal coetáneo de *Cajanus cajan*, establecido con semilla de un ejemplar localizado en acahual. Se sembraron 28 plantas en un diseño en hileras. La evaluación fenológica se realizó a los 150 y 210 días post-siembra, incluyendo: altura de la planta (AP), diámetro del tallo (DT) y número de ramas primarias (NRP) en la primera evaluación, adicionando el índice de robustez (IR) en la segunda. La morfometría incluyó longitud, diámetro, peso con semilla y sin semilla de las vainas, peso total de semilla, número de semillas y peso promedio de semilla por vaina. La fenología a los 150 días mostró correlaciones altamente significativas (70,9% a 78,5%). La segunda evaluación demostró un crecimiento progresivo de *C. cajan*, con coeficientes de variación de 15,21% para AP, 24,24% en DT, 21,98% para NRP. El IR fue de 7,5. La morfometría de vainas y semillas evidenció una correlación altamente significativa ($\alpha 0.01$). Se concluye en la viabilidad de establecer bancos de germoplasma de *Cajanus cajan* con material genético local, manejado en condiciones de sitio en un clima AW₂.

- 1 Ing. Agrónomo, Esp., MSc., PhD. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Veracruz, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1174-0528>
- 2 Ing. Agrónomo, Esp., MSc., PhD. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Veracruz, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3091-5255>
- 3 Ing. Agrónomo, Esp., MSc., PhD. Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Veracruz, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8450-3101>

La Revista Sistemas de Producción Agroecológicos es una revista de acceso abierto revisada por pares. © 2012. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la Licencia Internacional Creative Commons Attribution 4.0 (CC-BY 4.0), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Consulte <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

OPEN ACCESS



Palabras clave: Agroecología; Banco germoplasma; Frijol de árbol; Trópico subhúmedo.

Abstract

Current soil and climate conditions in the tropics have genetically eroded local biodiversity. Based on this, a stand of *Cajanus cajan* was explored, established with seeds from a specimen located in acahuil. Twenty-eight plants were planted in a row design. Phenological evaluation was performed 150 and 210 days after planting, including: plant height (PH), stem diameter (SD), and number of primary branches (NPB) in the first evaluation, adding the robustness index (RI) in the second. Morphometry included length, diameter, weight with and without seeds of the pods, total seed weight, number of seeds, and average seed weight per pod. Phenology at 150 days showed highly significant correlations (70.9% to 78.5%). The second evaluation showed progressive growth of *C. cajan*, with coefficients of variation of 15.21% for PH, 24.24% for SD, and 21.98% for PBR. The IR was 7.5. The morphometry of pods and seeds showed a highly significant correlation ($\alpha 0.01$). It is concluded that it is feasible to establish *Cajanus cajan* germplasm banks with local genetic material, managed under site conditions in an AW2 climate.

Keywords: Agroecology; Germplasm bank; Subhumid tropics; Tree bean.

Resumo

As atuais condições edafoclimáticas nos trópicos causaram uma erosão genética da biodiversidade local. Com base nisso, foi realizada a exploração de um povoamento coetâneo de *Cajanus cajan*, estabelecido com sementes de um exemplar localizado em acahuil. Foram plantadas 28 plantas em um desenho em fileiras. A avaliação fenológica foi realizada 150 e 210 dias após a semeadura, incluindo: altura da planta (AP), diâmetro do caule (DT) e número de ramos primários (NRP) na primeira avaliação, acrescentando o índice de robustez (IR) na segunda. A morfometria incluiu comprimento, diâmetro, peso com semente e sem semente das vagens, peso total da semente, número de sementes e peso médio da semente por vagem. A fenologia aos 150 dias mostrou correlações altamente significativas (70,9% a 78,5%). A segunda avaliação demonstrou um crescimento progressivo de *C. cajan*, com coeficientes de variação de 15,21% para AP, 24,24% em DT, 21,98% para NRP. O IR foi de 7,5. A morfometria das vagens e sementes evidenciou uma correlação altamente significativa ($\alpha 0,01$). Conclui-se pela viabilidade de estabelecer bancos de germoplasma de *Cajanus cajan* com material genético local, manejado em condições de campo num clima AW2.

Palavras-chave: Agroecología; Banco de germoplasma; Feijão; Trópicos sub-húmidos.

Introducción

Los rodales semilleros, al tratarse de la unidad básica del bosque geográficamente continua, cubierta con árboles de características homogéneas en cuanto a especie, edad, altura y densidad de los árboles, tipo de suelo, pendiente, estructura y volumen, se consideran fuentes de semillas de especies nativas, que son una alternativa para la conservación *in situ* de los recursos genéticos forestales. Aunado a ello, las plantaciones forestales con especies nativas establecidas con semilla local se consideran también como conservaciones *in situ* (Gutiérrez y Flores, 2017). La recolección de germoplasma forestal (parte de las plantas de los bosques, selvas y semidesierto que puede generar otra nueva planta) de árboles sobresalientes procedentes de masas forestales naturales, es el punto de partida para propagar una especie y conservar una amplia base genética, y desarrollar estrategias de mejora genética orientadas a aumentar la productividad de plantaciones forestales (Rodríguez et al., 2021).

Sin embargo, las condiciones edafoclimáticas en los trópicos húmedos y subhúmedos del continente americano se han modificado ostensiblemente en las últimas décadas, debido principalmente al cambio climático. Diversas investigaciones evidencian que las alteraciones climáticas registradas durante las últimas tres décadas han tenido un impacto relevante en la distribución, abundancia, fenología y fisiología de muchas especies (Jarma et al., 2012).

Dicha situación se ha visto complejizada por la contaminación de suelos y su empobrecimiento, la polución química y biológica del aire, pero sobre todo por la pérdida de biodiversidad. En muchos sentidos el sector agropecuario es dependiente del clima y, por lo tanto, sensible a sus cambios (Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria [CEDRSSA], 2019).

Bajo este contexto, la respuesta ha sido diferenciada en función a los campos de desempeño profesional, destacándose el impulso que en la

agronomía ha tenido el enfoque agroecológico, en calidad de paradigma que promueve el diseño y gestión de sistemas de producción agropecuaria sustentables (integración e interdependencia: economía, medio ambiente y sociedad). Desde esta perspectiva interdisciplinar, las estrategias y acciones han sido conducidas hacia los modelos sistémicos de entender e intervenir en la realidad biológica, bajo propósitos productivos y criterios sustentables. Como producto de ello, actualmente existen propuestas orientadas hacia la recuperación de suelos marginales, el establecimiento de sistemas agro y silvopastoriles, el rescate y aprovechamiento de germoplasma nativo, la identificación de flora promisoria de interés agroecosistémico, derivando todo ello en modelos biosociales, ejemplificados por los servicios ecosistémicos que estos nuevos esquemas proveen (Villarruel et al., 2023).

Desde este marco conceptual es que se hace necesario validar la expresión biológica que las especies vegetales tienen frente a estos nuevos escenarios edafoclimáticos (suelo/clima), particularmente de aquellas que ya han mostrado en la práctica agrícola su potencial productivo, como es el caso de *Cajanus cajan* (frijol de árbol o de palo, gandúl, quinchoncho), el cual es una leguminosa multipropósito, de alto valor nutritivo, que se cultiva en países de Asia, África, islas del Caribe y el sur de América. Se puede sembrar bajo esquemas intensivos como cultivo único o asociado con otros cultivos en pequeñas superficies. Debido a sus hábitos de crecimiento los granos secos pueden comercializarse durante todo el año (Villarruel et al., 2023). Además, se puede emplear como forraje y abono verde; su riqueza proteica, de almidones, fibra y fitonutrientes lo hace una excelente fuente alimenticia para la población humana (Navarro et al., 2014).

La importancia de *Cajanus cajan* estriba en que esta especie forma parte del sistema de semillas agrícolas de calidad descrita por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), que abarca 92 especies

prioritarias. Este sistema fue diseñado como estrategia para incrementar la disponibilidad de semillas de calidad en la comunidad agrícola mundial, emitiéndose sus directrices en 1993, mismas que fueron revisadas para su segunda publicación en 2003 (FAO, 2003).

Respecto a las condiciones climáticas recomendadas para su cultivo, se estima una temperatura máxima de 32 °C y una temperatura mínima de 22 °C, bajo una precipitación entre 600 a 1500 mm y una altitud óptima de 0 a 800 msnm (Arenas et al., 2022), prefiriéndose suelos fracos, profundos, pobres, con buen drenaje, pH 5.5-7.8 (Saladín, 1990; Cedano, 2006; Castillo et al., 2016). Sin embargo, el acelerado cambio climático ha ido afectando la fisiología de las plantas, al grado de generar erosión genética, lo cual compromete la capacidad futura para abordar las principales limitantes de la producción agrícola, reportándose importantes reducciones en los géneros *Arachis* y *Solanum* (Thomas et al., 2004; Jarvis et al., 2008). Bajo este contexto, es necesario contar con cultivos y ganaderías adaptables a diversas condiciones de producción, en lugar de depender de aquellos que tengan un conjunto limitado de condiciones climáticas (Nelson et al., 2009).

A pesar de los beneficios que aporta esta leguminosa, el principal desafío agronómico de *Cajanus cajan* radica en su amplia variabilidad genética, ya que la mayoría de líneas y accesiones disponibles son de floración indeterminada o semideterminada, con un subsistema de reproducción aproximadamente 60% autógamo y 40% de probabilidad de cruce por medios naturales (Cannon et al., 2009; Francis, 2003; Young et al., 2003). Lo que complica el manejo de la pureza genética en condiciones de campo. De aquí la necesidad de validar, bajo determinadas condiciones de suelo y clima propios de las regiones tropicales, la expresión biológica (agromorfométrica) de los distintos ecotipos o subpoblaciones de una especie que se ha desarrollado a un hábitat específico a través de adaptaciones genéticas.

Con base en ello, se estableció un rodal artificial de una accesión de *Cajanus cajan*, colectada dentro de un acahual (vegetación secundaria que se produce mediante un largo proceso de recuperación después de la intervención humana), ubicado en la zona centro de Veracruz, México, dentro de una Unidad Productora de Germoplasma Forestal, localizada en un clima AW₂-clima tropical subhúmedo con lluvias en verano, el más abundante en su grupo-, caracterizada por la prevalencia de suelos arcillo-arenosos con bajo nivel de materia orgánica (1.5%) (marginales), con el objetivo de iniciar su manejo con fines de conservación, evaluación y propagación (banco de germoplasma).

Metodología

Ubicación geográfica y clima

El estudio se realizó en el Vivero Agroforestal Pecuario del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván, Veracruz, México, dentro del área denominada Unidad Productora de Germoplasma Forestal, la cual se define como un área establecida con rodales, plantaciones o viveros, "con individuos pertenecientes a una especie forestal y seleccionados por su genotipo y/o fenotipo que posee bien identificada su procedencia, usada para la producción de frutos, semillas o material vegetativo" (CONAFOR, 2015, p.14). Se encuentra localizada a 19° 24' 42.8" N y 96° 21' 28.0" W ubicada a 8 msnm, con una precipitación media anual de 1.017.7 mm y una temperatura media anual de 25.8 °C, con un clima AW₂.

Diseño y establecimiento del rodal (banco de germoplasma)

La semilla fue colectada directamente en campo mediante cosecha manual, obtenida de un espécimen localizado en condiciones de acahual en la zona central del Estado de Veracruz, México (Figura 1). La semilla fue sembrada sin ningún tratamiento previo para mejorar su calidad (Gutiérrez y Flores, 2017), dentro de una charola germinadora.

Figura 1. Semillas de *Cajanus cajan* colectada en condiciones de acahuil



Características y manejo del material genético base

El número de semillas por vaina y el peso promedio de la semilla (g) expresaron una $\bar{X}=4,2\pm0,9$ ($CV=21,42\%$), con moda y mediana=4,0, así como una $\bar{X}=0,13\pm0,06$ g ($CV=46,15\%$) con moda de 0,10 g y mediana de 0,13 g, respectivamente. A pesar de la alta dispersión mostrada, sobre todo para el peso de las semillas, las medidas de tendencia central indican homogeneidad en cada variable. La variabilidad presente se atribuye a que la semilla no fue seleccionada con base en atributos morfológicos, debido al poco material con que se contó, condición que puede afectar la calidad fisiológica de la semilla (Correa et al., 2013), expresada en sus parámetros fisiológicos, tales como el porcentaje de germinación, el cual para este caso fue del 77,77%.

Verificada la presencia de dos hojas verdaderas en las plántulas, se colocaron en bolsas negras de un kilo de capacidad, en sustrato elaborado con suelo y humus activo (52,59% p/p), en proporción 50:50, hasta alcanzar 20 cm de altura, momento en que fueron ubicadas en campo mediante siembra completa (planta y sustrato).

El arreglo topológico incluyó 28 plantas sembradas en tres líneas, a una distancia de 1 m entre planta y planta y de 1,5 m entre líneas, con una densidad de siembra de 6667 plantas/ha. El suelo se identificó como arcillo-arenoso, con 1,4% de materia orgánica y un pH de 7.0.

Evaluación fenológica

Se realizaron dos evaluaciones fenológicas a partir de los 150 días posteriores a la siembra (presencia de la primera floración) y a los 210 días. Las variables medidas en la primera evaluación fueron: supervivencia en condiciones de campo (%), presencia de insectos plagas (% de plantas plagadas), presencia de enfermedades (% de plantas enfermas), altura de planta (cm del ras del suelo a la yema apical), diámetro de tallo (mm, a 20 cm del ras del suelo) y número de ramas primarias. Estas variables representan la respuesta biológica de la planta a las condiciones edafoclimáticas propias del sitio, constituyéndose en la primera evidencia de la calidad de las plantas y su adaptación a dichas condiciones. Para la segunda evaluación se incluyó diámetro del cuello de la raíz (cm). Se empleó un vernier electrónico (Carbon Fiber Composites Digital Caliper), con resolución 0.1 mm/0.01, así como flexómetro metálico en escala métrica decimal.

El índice de robustez se define como la relación entre la altura de la planta (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm). De acuerdo con Sáenz et al. (2014), este parámetro constituye un indicador de resistencia de la planta a la desecación por el viento, la capacidad de supervivencia y el potencial de crecimiento en sitios secos; se estima que su valor debe ser menor a seis. Los valores más bajos, inferiores a seis, indican una mayor calidad de la planta. Se entiende que árboles más robustos, bajos y gruesos, presentan mejor adaptación a ambientes con escasa humedad. Valores superiores a seis indican desbalance entre el crecimiento en altura y el diámetro, como es el caso de tallos elongados con diámetros delgados. Su fórmula es:

$$\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro Cuello de Raíz (mm)}}$$

A partir de la siembra se realizaron riegos cada tercer día, iniciando con 5 litros por planta hasta llegar a 25 litros a partir de la segunda mitad del periodo. Las arveses se eliminaron semanalmente, monitoreándose diariamente la presencia de plagas y enfermedades.

Variables morfométricas

La producción de vaina y semilla se presentó a los 11 meses posteriores a la siembra en campo. Para estimar la variación a lo largo de la etapa de producción, se realizaron dos evaluaciones morfométricas, con una muestra aleatoria de 100 vainas cada una ($n=200$), en intervalos de 20 días. Las variables incluyeron: longitud de vaina (LV), diámetro de vaina (DV), peso de la vaina con semilla (PVCS), peso de la vaina sin semilla (PVSS), peso del total de semillas por vaina (PTSPV), número de semillas por vaina (NSPV) y peso promedio de la semilla por vaina (PPSV). Las variables se analizaron bajo una estadística descriptiva y de inferencia, estimándose las medidas de tendencia central y dispersión, así como la correlación lineal entre ellas.

Resultados

La observación visual permitió identificar la presencia de áfidos (pulgones) en 4 plantas (14,28%), condición controlada en todo el rodal con la aplicación de praletina (1,00 g/kg) combinada con fenotrina (1,25 g/kg) durante tres días consecutivos. No se detectaron enfermedades fúngicas, bacterianas o virales durante el periodo. El porcentaje de supervivencia fue del 100%.

Variables fenológicas

Las variables fenológicas (Tabla 1) estimadas a los 150 días mostraron una $\bar{X}=149,719 \pm 24,58$ cm; $1,1946 \pm 3,88$ mm y $35,00 \pm 6,38$ para altura de planta, diámetro de tallo y número de ramas primarias (variables dendrométricas), semejantes a los percentiles medios (50) encontrados. Esto evidencia el desarrollo armónico de las plantas (indicadores de calidad), lo que se confirma a través de los

coeficientes de variación, los cuales fueron de 16,41%, 32,47% y 18,22% respectivamente.

Tabla 1. Medidas de tendencias central y dispersión para variables fenológicas de *Cajanus cajan* (150 días posteriores a su siembra en campo)

	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Número de ramas primarias
Media	149,71	1,19	35,00
Mediana	147,25	1,11	34,50
Moda	142,0a	1,0a	33,0a
Desviación estándar	24,58	0,38	6,38
Varianza	604,23	0,15	40,72
Mínimo	104,0	0,6	23,0
Máximo	195,0	2,3	48,0
	25	134,75	31,25
Percentiles	50	147,25	34,50
	75	167,00	38,25

Nota. a múltiples modas existentes. Se muestra el valor más pequeño.

Las correlaciones lineales (r) entre variables (Tabla 2) mostraron asociaciones importantes entre ellas, del orden de 78,5% y 73,1% para altura de planta con diámetro de tallo y número de ramas primarias respectivamente, y de 70,9% para diámetro de tallo y número de ramas primarias. Se infiere que el diámetro de tallo explica en un 50,26% (r^2) el número de ramas primarias, mientras que la misma variable explicaría el 61,62% (r^2) de la altura de planta. Al parecer, existe un mayor efecto de la altura de planta sobre el número de ramas primarias ($r^2=53,43\%$). Se destaca la alta significancia mostrada en todos los coeficientes de correlación.

Tabla 2. Correlaciones lineales entre variables fenológicas en un rodal semillero de *Cajanus cajan*. (150 días posteriores a la siembra)

	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Número de ramas primarias
Altura de planta	1	0,785**	0,731**
Diámetro de tallo	0,785**	1	0,709**
Número de ramas primarias	0,731**	0,709**	1

Nota. **Correlación significativa al $\alpha=0.01$.

Por otra parte, la expresión fenotípica observada a los 210 días (Tabla 3) demostró el crecimiento natural y progresivo alcanzado por el *Cajanus cajan*, mostrándose nuevamente consistencia en su variabilidad, con un coeficiente de variación de 15,21% para altura de planta, 24,24% en diámetro de tallo, 21,98% para número de ramas primarias. El diámetro del cuello de la raíz evidenció un coeficiente de variación de 28,60%, con un índice de robustez de 7,5, lo que demuestra la fragilidad biológica de los arbustos. Estos se vieron expuestos a estrés calórico durante el periodo de crecimiento, con sensaciones térmicas que oscilaron entre 40 y 45 °C, condición que originó aborto floral a los 150 días de establecido el rodal en el sitio. La floración y aborto se presentaron solo en el 17,85% (n=5) de los especímenes, atribuible a las propias condiciones de estrés a las que fueron sometidos, lo que determinó que el resto de los arbustos no hayan registrado floración temprana.

Las correlaciones lineales para este periodo (Tabla 4) mantuvieron su alta significancia ($\alpha=0,01$), aunque con menores asociaciones, sobre todo para diámetro de tallo, quien correlacionó positivamente con la altura de planta (50,1%), número de ramas primarias (59,2%) y diámetro del cuello radicular (58,8%). Con ello se aprecia un desarrollo estable de la plantación, mostrándose un crecimiento biológicamente armónico.

Respecto a las temperaturas presentadas durante la evaluación a los 150 días, estas oscilaron entre 21,97 °C y 28,60 °C, mostrándose una curva ascendente en el tiempo (Figura 2) a medida que se transitó de primavera a verano, lo que se expresó en un estrés calórico que explica el rápido crecimiento de las plantas y su floración, así como el aborto floral observado. Al parecer las plantas aceleraron su ciclo biológico ante las condiciones adversas; sin embargo, la condición del rodal mostró que el

Tabla 3. Medidas de tendencia central y dispersión para variables fenológicas de *Cajanus cajan* (210 días posteriores a su siembra en campo)

	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Número de ramas primarias	Diámetro del cuello radical (cm)
Media	261,10	3,007	19,75	3,48
Mediana	271,50	2,70	19,00	3,45
Moda	287,00	2,70	19,00	3,90
Desviación Estándar	39,73	0,729	4,34	0,97
Varianza	1579,21	0,532	18,86	0,95
Rango	159,00	3,30	18,00	5,40
Mínimo	161,00	1,70	11,00	1,60
Máximo	320,00	5,00	29,00	7,00
	25	233,25	2,600	17,00
Percentiles	50	271,50	2,700	19,00
	75	287,75	3,400	21,75

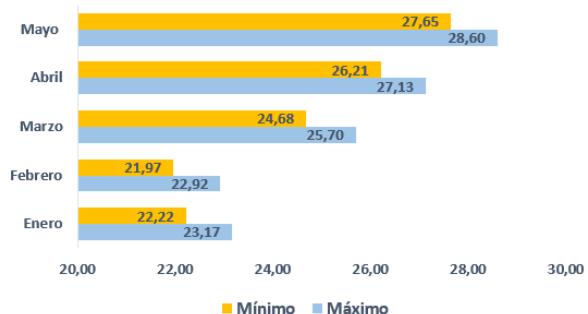
Tabla 4. Correlaciones lineales entre variables fenológicas en un rodal semillero de *Cajanus cajan*. (210 días posteriores a la siembra)

Variables	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (cm)	Número de ramas primarias	Diámetro del cuello radical (cm)
Altura de planta	1	0,501**	0,351	0,330
Diámetro de tallo	0,501**	1	0,592**	0,588**
Número de ramas primarias	0,351	0,592**	1	0,361
Diámetro del cuello radical	0,330	0,588**	0,361	1

Nota. ** La correlación es significativa al nivel 0,01 (2-colas).

rango de temperatura se asume como un diferencial térmico que puede tolerar, así como la temperatura mínima crítica previa al paro fisiológico o muerte celular (INTAGRI, 2015). En este sentido las referencias reportan un lapso de 150 días de la plantación a la florescencia (Grupo Facholi, 2023), lo que coincide con lo observado en el rodal.

Figura 2. Temperaturas máximas y mínimas promedio ($^{\circ}\text{C}$) durante el periodo de evaluación (2023). Vivero Agroforestal Pecuario. Estación meteorológica del Instituto Tecnológico de Úrsulo Galván



Expresión morfométrica de vaina y semilla

Primera evaluación: la expresión de las variables mostró la homogeneidad con la que se desarrolló

el rodal (Tabla 5), a través de sus medidas de tendencia central (media y mediana), con coeficientes de variación de 8,17%, 21,62%, 22,76%, 20,53%, 26,51%, 23,57% y 15,36% para LV, DV, PVCS, PVSS, PTSV, NTSV y PPSV, respectivamente. Destaca la consistencia mostrada en el número total de semillas por vaina, con una simetría expresada en sus media, moda y mediana (4.0). El número promedio de semillas por kg fue de 5921.

Las evidencias mostraron una correlación (r) altamente significativa ($\alpha 0.01$) entre las variables morfométricas estudiadas (Tabla 6). Para el caso de la longitud de vaina esta correlación se mostró del orden de 43,7%, 75,5%, 81,1%, 67,6% y 66,5%, para DV, PVCS, PVSS, PTSV y NTSV respectivamente, no así para el PPSV. En algunos casos las correlaciones fueron menores al 70%, como fue el peso promedio de semillas por vaina, mostrándose incluso negativa.

Se destaca la alta correlación existente entre la variable peso total de semillas por vaina y el peso de vaina con semilla (95%), así como de peso total de semillas de vaina con el número total de semillas por vaina (89,2%). Esta última mostró una correlación del 88,6% con el peso de vaina con semilla. Respecto al peso de vaina con y sin semilla, la correlación fue del 88,1%.

Tabla 5. Medidas de tendencia central y dispersión observadas en la primera evaluación morfométrica de vaina y semilla estimadas en un rodal semillero de *Cajanus cajan*

	Longitud de vaina (mm)	Diámetro de vaina (mm)	Peso de vaina con semilla (g)	Peso de vaina sin semilla (g)	Peso total de las semillas por vaina (g)	Número total de semillas por vaina	Peso promedio de semilla por vaina (g)
Media	58,74	6,49	1,0406	0,35	0,68	4,04	0,16
Mediana	58,30	7,10	1,0584	0,35	0,70	4,00	0,17
Moda	58,10	7,30	0,36a	0,19a	0,12a	4,00	0,18
Desviación Estándar	4,80	1,40	0,23	0,072	0,18	0,95	0,0259
Varianza	23,053	1,972	0,056	0,005	0,03	0,90	0,001
Rango	22,20	7,60	1,27	0,34	0,99	5,00	0,20
Mínimo	47,70	1,30	0,36	0,19	0,12	1,00	0,04
Máximo	69,90	8,90	1,62	0,53	1,11	6,00	0,25
Percentiles	25	55,02	6,10	0,918	0,60	4,00	0,16
	50	58,30	7,10	1,05	0,35	4,00	0,17
	75	61,80	7,37	1,20	0,40	5,00	0,18

Nota. a. Múltiples modas existentes. Se muestra el valor más pequeño.

Tabla 6. Asociaciones encontradas en la primera evaluación morfométrica de vaina y semilla obtenida en un rodal semillero de *Cajanus cajan*

	Longitud de vaina (mm)	Diámetro de vaina (mm)	Peso de vaina con semilla (g)	Peso de vaina sin semilla (g)	Peso total de las semillas por vaina (g)	Número total de Semillas por vaina	Peso promedio de semillas por vaina (g)
Longitud de vaina	1	0,437**	0,755**	0,811**	0,676**	0,665**	0,177
Diámetro de vaina	0,437**	1	0,687**	0,584**	0,635**	0,598**	0,182
Peso de vaina con semilla	0,755**	0,687**	1	0,881**	0,950**	0,886**	0,286**
Peso de vaina sin semilla	0,811**	0,584**	0,881**	1	0,761**	0,665**	0,322**
Peso total de semillas por vaina	0,676**	0,635**	0,950**	0,761**	1	0,892**	0,353**
Número total de semillas por vaina	0,665**	0,598**	0,886**	0,665**	0,892**	1	-0,010
Peso promedio de semillas por vaina	0,177	0,182	0,286**	0,322**	0,353**	-0,010	1

Nota. ** Correlaciones son significativas en el nivel 0,01 (2-colas).

Segunda evaluación: la homogeneidad del rodal semillero se mantuvo en la segunda caracterización de vainas y semillas (Tabla 7), con medidas de tendencia central que evidencian la simetría antes observada, con coeficientes de variación de 9,30%, 20,94%, 23,25%, 21,03%, 26,09%, 24,20% y 10,30% para LV, DV, PVCS, PVSS, PTSV, NTSV y PPSV respectivamente. La variabilidad se mantuvo en niveles similares a los de la primera evaluación, excepto para el peso promedio de semillas por vaina, la cual mostró menor variación. Esto indica que a medida que avanza el proceso de fructificación la semilla tiende a compactarse en su desarrollo (menos dispersión). El número promedio de semillas por kg fue de 5851.

Para la segunda evaluación (Tabla 8) las correlaciones altamente significativas se mantuvieron ($\alpha=0,01$), incluso para el peso promedio de la semilla por vaina, el cual mostró una asociación mayor en términos numéricos, aunque no de interés estadístico (por debajo del 35%). Las correlaciones más altas se encontraron en el peso de la vaina con semilla asociada a peso de la vaina sin semilla (89,9%), peso total de semilla por vaina (98,2%) y número total de semilla por vaina (89,0%). Evidencia que permite estimar que a mayor peso y número total de la semilla mayor será el peso de la vaina completa (con semilla) ($r=98,1\%$ y $r=89,0\%$). Incluso la asociación con el peso de la vaina sin semilla se mostró alta ($r=89,9\%$, $r^2=80,82\%$), lo que

Tabla 7. Medidas de tendencia central y dispersión observadas en la segunda evaluación morfométrica de vaina y semilla obtenida en un rodal semillero

	Longitud de vaina (mm)	diámetro de vaina (mm)	Peso de vaina con semilla (g)	Peso de vaina sin semilla (g)	Peso total de semilla por vaina (g)	Número total de semillas por vaina	Peso promedio de la semilla por vaina (g)
Media	61,76	6,79	1,06	0,37	0,69	4,06	0,17
Mediana	62,60	7,30	1,10	0,37	0,71	4,00	0,17
Moda	58,20a	7,50a	0,40a	0,30a	0,82	4,00	0,16
Desviación Estándar	5,7476	1,42	0,24	0,07917	0,1806	0,9829	0,0176
Varianza	33,036	2,025	0,062	0,006	0,033	0,966	0,0
Rango	24,30	7,00	1,25	0,35	0,96	5,0	0,10
Mínimo	47,80	2,80	0,40	0,22	0,18	1,0	0,11
Máximo	72,10	9,80	1,65	0,57	1,13	6,0	0,21
Percentiles	25	57,72	6,30	0,87	0,55	3,250	0,16
	50	62,60	7,30	1,10	0,71	4,000	0,17
	75	65,80	7,60	1,22	0,43	5,000	0,18

Nota. a. Múltiples modas existentes. Se muestra el valor más pequeño.

confirma la importancia técnica de seleccionar en la cosecha vainas enteras con el mayor peso. En términos estadísticos, la longitud de vaina evidenció también una asociación importante con relación al peso de las vainas, con y sin semillas (79,5% y 84,1 % respectivamente). Se destaca que en ambas evaluaciones el peso promedio de la semilla por vaina expresó una baja asociación con estas variables, condición atribuible a la expresión genética del ecotipo evaluado.

Discusión

Tal como lo afirma Castillo et al. (2016), el problema principal de *Cajanus cajan* y su fenología en campo, es la existencia de variabilidad genética, y en consecuencia la existencia de diversos genotipos, lo que hace relevante identificar el material biológico empleado en este estudio. Sobre esta base se encontró que el color amarillo de las semillas del germoplasma empleado, así como su maduración temprana (150 días) permiten inferir que se trató de la variedad *flavus* (Monegat, 1991), identificándose como una variedad precoz (90-150 días) (Binder, 1997; Robledo, 2010), condición atribuible en parte al fotoperíodo al que se vio sometida. Por las características de su inflorescencia, la floración se definió como "determinada", no solo por la aparición de flores en la yema apical, sino también

porque sus inflorescencias comenzaron de arriba hacia abajo (Ayala et al., 2021).

Respecto a su fenología, la deficiente robustez del rodal se atribuye a las condiciones edafoclimáticas presentes, particularmente del suelo, el cual no permitió un desarrollo radicular profundo; sin embargo, tal como lo afirma Binder (1997) y Cedano (2006) *Cajanus* prospera mejor en suelo franco, profundo y fértil, con buen drenaje, lo cual no fue la condición en la que se cultivó. En lo que concierne a las condiciones climáticas, particularmente la ausencia de lluvias, se compensó con el riego realizado, sobre todo los dos primeros meses de establecido, tal como lo recomiendan Binder (1997) y Cedano (2006).

En el establecimiento de rodales coetáneos, con una especie bajo condiciones homogéneas de sitio, existe una relación no lineal entre la altura total y el diámetro (Arias, 2004). Estas relaciones son afectadas por la calidad de sitio y la densidad del rodal. Por ejemplo, en rodales jóvenes establecidos en sitios de alta calidad, la relación altura-edad presenta una pendiente pronunciada, indicando un crecimiento vertical acelerado. Por el contrario, en rodales maduros o en sitios de baja calidad, esta pendiente se reduce significativamente. Al respecto, en este estudio se observó

Tabla 8. Asociaciones encontradas en la segunda evaluación morfométrica de vaina y semilla obtenida en un rodal semillero de *Cajanus cajan*

	Longitud de vaina (mm)	Diámetro de vaina (mm)	Peso de vaina con semilla (g)	Peso de vaina sin semilla (g)	Peso total de semilla por vaina (g)	Número de semillas por vaina	Peso promedio de la semilla por vaina (g)
Longitud de vaina (mm)	1	0,301**	0,795**	0,841**	0,724**	0,662**	0,238*
Diámetro de vaina (mm)	0,301**	1	0,546**	0,433**	0,561**	0,481**	0,205*
Peso de vaina con semilla (g)	0,795**	0,546**	1	0,899**	0,981**	0,890**	0,307**
Peso de vaina sin semilla (g)	0,841**	0,433**	0,899**	1	0,798**	0,688**	0,327**
Peso total de semilla por vaina (g)	0,724**	0,561**	0,981**	0,798**	1	0,923**	0,279**
Número total de semillas por vaina	0,662**	0,481**	0,890**	0,688**	0,923**	1	-0,099
Peso promedio de la Semilla por Vaina (g)	0,238*	0,205*	0,307**	0,327**	0,279**	-0,099	1

Nota.*Correlaciones son significativas en el nivel 0.05 (2-colas). **Correlaciones son significativas en el nivel 0.01 (2-colas).

una correlación altamente significativa entre estas variables, la cual disminuyó a medida que el rodal alcanzó los siete meses de edad.

Es importante considerar que el crecimiento de los árboles emerge del balance entre su tendencia al crecimiento ilimitado y las limitaciones ambientales, donde factores como la competencia y el proceso de envejecimiento modulan las tasas teóricas de desarrollo. Pese a la complejidad del análisis de estos factores, la competencia entre árboles cercanos, destaca como el principal regulador del crecimiento forestal (Álvarez et al., 2004). La mayor variación presente en el diámetro de tallo se atribuye a la velocidad de crecimiento de la planta (altura), la cual es inversamente proporcional: a mayor crecimiento, menor diámetro del tallo, condición propia de las arbóreas, asociada a la densidad de siembra (competencia entre plantas).

Estas evidencias son relevantes si se considera el establecimiento de rodales con fines forrajeros, sobre todo cuando se establece la relación entre el número de ramas, la altura y el diámetro como antecedentes para determinar la producción de biomasa aérea, atributos morfológicos comúnmente medidos para determinar la calidad de la planta (Quiroz et al., 2009). Pero en *Cajanus cajan* además de servir para la alimentación humana, puede ser utilizado para la alimentación animal, cuyo forraje, con 16-22% de proteína y 59% de digestibilidad, se utiliza fresco (pastoreo) o conservado (heno, ensilaje) (Trómpiz et al., 2001; Peters et al., 2003; Carvajal et al., 2016).

Pese al desarrollo de metodologías avanzadas para determinar la calidad de las plantas, fundamentadas en el análisis integrado de las características morfológicas y fisiológicas de las mismas (Rodríguez et al., 2021), debe considerarse que la evaluación dendrométrica es también un método efectivo para ello, en tanto ambos estudios se basan en indicadores de su capacidad para establecerse y desarrollarse en las condiciones ambientales del sitio de plantación, parámetro

directamente influenciado por la calidad genética del germoplasma utilizado y las condiciones de cultivo en vivero (sustratos, contenedores, nutrición, riego, sanidad y manejo integral de dichos factores), lo cual se consideró en el presente estudio.

Con relación a la expresión morfométrica de vaina y semilla, se estima que en promedio hay diez mil semillas sin escarificación de *C. cajan* por kilo (Vivas y Morales, 2005), lo cual estuvo por encima de las 5886 semillas por kilo observadas en las 200 vainas evaluadas. El número de semillas es indicativo de su mayor peso (0,17 g), así como su número promedio de semillas por vaina ($n=4$, CV=24,01 %), lo que debe considerarse como una respuesta biológica favorable, expresión del potencial genético y la capacidad de adaptación de la especie a las condiciones en que se estableció y desarrolló el rodal. Estos resultados permitieron constatar que tanto la vaina como la semilla mantuvieron su expresión biológica respecto a la semilla progenitora. Con base en ello, la producción de semilla se considera importante en términos de su potencial empleo para la siembra y propagación de la especie, así como para su consumo humano o animal, ya que la semilla del *C. cajan* contiene entre 18 y 21 % de proteína bruta en base seca o el 8% en base fresca; sin embargo, se ha reportado que algunas variedades llegan a contener 32% de proteína (Aponte, 1995; López et al., 2006; Mula y Saxena, 2010).

Conclusión

La evidencia demostró la viabilidad de hacer colectas de germoplasma en condiciones de campo (acahual), existiendo un potencial genético nativo que debe ser aprovechado en el establecimiento de bancos de germoplasma, tal como se mostró en el presente estudio. La calidad de la plantación se asume como apropiada en términos de las condiciones en que se estableció, bajo diseño en líneas y con alta densidad de siembra. *Cajanus cajan* demostró ser una planta que tolera diferenciales de temperatura por arriba de los 28 °C, con tendencias al alza, siempre y cuando se realicen riegos de

apoyo durante su etapa de crecimiento. El desarrollo de vaina y semilla mostró el potencial genético de la especie evaluada, así como su capacidad de adaptación a las condiciones edafoclimáticas propias de la zona, constituyéndose en un indicativo de su factibilidad como especie de interés agroecológico.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, T. M. F., Marqués, G. R., Fernández, M. A. y Castedo, D. F. (2004). Influencia de la competencia en el crecimiento en sección de *Pinus radiata* D. Don en el bierzo (León). *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 18, 129-133. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2980801>
- Aponte, A. (1995). Producción de grano y semilla de quinchoncho. Maracay: FONAIAP (Ed.). *Universidad del Zulia, Sistema de Servicios Bibliotecarios de Información. Serie C* (40), 64.
- Arenas, R. I., Del Toro, A. J. M., Moreno, P. S., Hernández, N. J. F., Gutiérrez, B. I. A., Berrocal, A. J. H., Guzmán, S. L. F., Medina, M. M. J., Aguilar, A. P. A., Soto, M. R. J., Montero, C. Y. D. y Ramírez, D. J. (2022). Manual técnico para la producción de semilla de guandul (*Cajanus cajan* (L.) Huth) en Colombia. AGROSAVIA. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/37210/Ver_Documento_37210.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arias, A. D. (2004). Estudio de las relaciones altura-diámetro para seis especies maderables utilizadas en programas de reforestación en la Zona Sur de Costa Rica. *Kurú: Revista Forestal*, 1(2), 1-11. https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/6246/AR_1.pdf?sequence=1
- Ayala, G. A. V., Acosta, G. J. A y Reyes, M. L. (2021). *El Cultivo del Frijol Presente y Futuro para México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. https://vun.inifap.gob.mx/VUN_MEDIA/BibliotecaWeb/_media/_librotecnico/12319_5085_El_cultivo_del_frijol_presente_y_futuro_para_M%C3%A9jico.pdf
- Binder, U. (1997). *Manual de Leguminosas de Nicaragua*. Programa para la Agricultura Sostenible en Laderas de América Central.
- Cannon, S. B., May, G. D. y Jackson, S. A. (2009). Three sequenced legume genomes and many crop species: rich opportunities for translational genomics. *Journal Plant of Physiology*, 151 (3), 970-977. <https://doi.org/10.1104/pp.109.144659>
- Carvajal, T. J. I., Martínez, M. C. A., Truque, R. N. Y. (2016). Digestibilidad de la harina de guandul (*Cajanus cajan*) en alimentación de pollitos de engorde. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(1), 87-94. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)87-94](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)87-94)
- Castillo, G. C., Narváez, S.W. y Hahn, von-H. C. M. (2016). Agromorfología y usos del *Cajanus cajan* L. Millsp. (Fabaceae). *Boletín Científico del Centro de Museos*, 20(1), 52-62. <https://doi.org/10.17151/bccm.2016.20.1.5>
- Cedano, J. (2006). *Guía técnica cultivo de guandul*. Centro para el Desarrollo Agropecuario y Forestal (CEDAF). https://www.academia.edu/28739611/Guía_Técnica_Cultivo_de_Guandul
- Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria – CEDRSSA. (2019). *El cambio climático y el sector agropecuario en México*. Cámara de Diputados, LXIV Legislatura. <http://www.cedrssa.gob.mx/files/b/13/12El%20cambio%20clim%C3%A1tico.pdf>
- Correa, E., Espitia, M., Araméndiz, H., Murillo, O. y Pastrana, I. (2013). Variabilidad genética en semillas de árboles individuales de *Tectona grandis* Lf en la conformación

- de lotes mezclados en Córdoba, Colombia. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(2), 379-389. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262013000200012&script=sci_arttext
- Grupo Facholi. (2023). Guandú Mandarín. <http://www.grupofacholi.com.br/es/folheto/?id=196>
- Francis, J. K. (2003). *Cajanus cajan* (L.) Millsp. Servicio Forestal del Departamento de Agricultura de Estados Unidos.
- Gutiérrez, V. B. y Flores, M. A. (2017). Rodales semilleros: Opción para la conservación in situ de recursos genéticos forestales en Chiapas, México. *Forestal Veracruzana*, 19(2), 41-48. <https://www.redalyc.org/articulo oa?id=49753656002>
- INTAGRI. (2015). *El Estrés Vegetal Parte I: Estrés por Altas Temperaturas*. Intagri. <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/estres-vegetal-parte-1-estres-por-altas-temperaturas>.
- Jarma, O. A., Cardona, A. C. y Araméndiz, T. H. (2012). Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 63-76. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-42262012000100008&script=sci_arttext
- López, M., Bolívar, Á., Salas, M. y Gouveia, M. (2006). Conservationist practices and rotation with pigeon-pea as a sustainable alternative for the agro-ecosystems of savannahs of Guárico, Venezuela. *Revista Científica Agronomía Tropical*, 56(1), 75-109. https://ve.scielo.org/scielo.php?pid=S0002-192X2006000100005&script=sci_abstract&tlang=en
- Mula, M. G. y Saxena, K. B. (2010). *Lifting the Level of Awareness on Pigeon Pea. A Global Perspective*. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. http://oar.icrisat.org/193/1/296_10_Lifting_eh_level_of_-awareness_on_Pigeonpea.pdf
- Monegat, C. (1991). Plantas de cobertura del suelo. *Características y manejo en pequeñas propiedades*. CIDICCO. Editorial Chapecó.
- Navarro, V. C. L., Restrepo, M. D. y Pérez, M. J. (2014). El guandul (*Cajanus cajan*) una alternativa en la industria de los alimentos. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2), 197-206. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612014000200022&script=sci_arttext
- Nelson, C., Rosegrant, M., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., Ringler, C., Msangi, S., Palazzo, A., Batka, M., Magalhaes, M., Valmonte-Santos, R., Ewing, M. y Lee, D. (2009). *Cambio climático: el impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. Instituto Internacional de Investigación sobre políticas alimentarias IPFRI. <https://ceiba.agro.uba.ar/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=17853>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. (2003). *Sistema de Semillas de calidad declarada*. FAO. <https://www.fao.org/4/a0503s/a0503s.pdf>
- Peters, M., Franco, L. H., Schmidt, A. y Hincapié, B. (2003). *Especies forrajeras multipropósito: Opciones para productores de Centroamérica*. CIAT. <https://core.ac.uk/reader/132665090>

- Quiroz, I., García, E., González, M., Chung, P., Casanova, K. y Soto, H. (2009). *Calidad de planta y certificación*. Centro tecnológico de la planta forestal. <https://www.itson.mx/publicaciones/rln/ Documents/v12-n1-5-indicadores-de-calidad-de-la-planta-de-quercus-canby-Trel-encino-en-vivero-forestal.pdf>
- Robledo, L. C. (2010). *Gandul: Cajanus cajan (L.) Mill.* Leguminosae. Universidad de San Carlos de Guatemala. <http://es.scribd.com/doc/31118870/Cajanus-cajan-Gandul>
- Rodríguez, O. G., José, H. Y., Enríquez, del V. J. R. y Campos, Á. G. V. (2021). Calidad de plántula de árboles seleccionados de *Leucaena esculenta* en sistema agroforestal. *CIENCIA ergo-sum*, 28(1), 1-9. <https://doi.org/10.30878/ces.v28n1a7>
- Sáenz, R. J. T., Muñoz, F. H. J., Pérez, C. M. Á., Rueda, S. A. y Hernández, R. J. (2014). Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 5(26), 98-111. <https://www.redalyc.org/pdf/634/63439016008.pdf>
- Saladín, F. (1990). *Cultivo de guandul*. Fundación de Desarrollo Agropecuario de República Dominicana. <https://intranet.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/guandul.pdf>
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., Ferreira De Siqueira, M., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., Van Jaarsveld, A. S., Midgley,
- G. F., Miles, L., Ortega, H. M. A., Peterson, A. T., Phillips O. L. & Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. *Nature*, 427(6970), 145-148. <https://doi.org/10.1038/nature02121>
- Trómpiz, J., Ventura, M., Esparza, D., Higuera, A., Padrón, S. y Aguirre, J. (2001). Efecto de la sustitución parcial del alimento balanceado por harina de follaje de quinchoncho (*Cajanus cajan* (L) Millsp), sobre el comportamiento productivo en cerdos en etapa de engorde. *Revista Científica, FCV-LUZ*, 11(5), 391-396. <https://producccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/14792/14769>
- Vivas, N. J. y Morales, V. S. (2005). Evaluación agronómica y producción de grano de diez accesiones de Guandul (*Cajanus cajan*) en la meseta de Popayán-Cauca. *Revista Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 3(1), 36-40. <https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/615>
- Villarruel, F. M., Chávez, M. R. y Garay, P. I. (2023). *Sistemas de producción Sustentables. Conceptos para su diseño*. Athena. https://www.researchgate.net/publication/389352152_Sistemas_de_Producción_Sustentables_Conceptos_Para_su_Diseno_SISTEMAS_DE_PRODUCCIÓN_SUSTENTABLES_Conceptos_Para_su_Diseno
- Young, N. D., Mudge, J. y Ellis, T. H. N. (2003). Legume genomes: More than peas in a pod. *Current Opinion in Plant Biology*, 6(2), 199-204. [https://doi.org/10.1016/S1369-5266\(03\)00006-2](https://doi.org/10.1016/S1369-5266(03)00006-2)