



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE POSTGRADO

**USO DE HERRAMIENTAS DIGITALES DE CIENCIA CIUDADANA
PARA LA CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE EJEMPLARES DE
AVELLANO CHILENO (*Gevuina avellana* Mol.)**

Tesis para optar al Grado de Magíster en Ciencias Agropecuarias

DIEGO ANDRÉS AGUAYO ESTAY

Director de Tesis
Rodrigo Infante E.

Profesores consejeros
José Ignacio Covarrubias P.
Amanda Huerta F.

Profesor colaborador
Nicolás Cobo L.

SANTIAGO - CHILE
2024

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE POSTGRADO

**USO DE HERRAMIENTAS DIGITALES DE CIENCIA CIUDADANA PARA LA
CARACTERIZACIÓN FENOTÍPICA DE EJEMPLARES DE AVELLANO
CHILENO (*Gevuina avellana* Mol.)**

Tesis presentada como parte de los requisitos para optar al Grado de Magíster en Ciencias
Agropecuarias

DIEGO ANDRÉS AGUAYO ESTAY

DIRECTOR DE TESIS

Calificaciones

Rodrigo Infante E.
Ingeniero Agrónomo, Dr.


Rodrigo Arturo
Infante Espíñeira
8.190.128-7
28/01/2024 - 21:06
 UNIVERSIDAD
DE CHILE
ESTE DOCUMENTO CONTIENE FIRMA ELECTRÓNICA AVANZADA
<https://ceropapel.uchile.cl/validacion/verificador>
CV: nyrdhaeoqj7k3addkobb3mdzaa

6,8

PROFESORES CONSEJEROS

José Ignacio Covarrubias
Ingeniero Agrónomo, Dr.



6,9

Amanda Huerta F.
Ingeniero Forestal, Dra.



7,0

PROFESOR
COLABORADOR

Nicolás Cobo L
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.



Santiago, Chile
2024

***NO HAY MÁS BRILLO
QUE EL QUE UNO MISMO SE INVENTA
A LA VUELTA DE LA OLA,
AMONTONADO JUNTO A LA TURBULENCIA
Y EN LA ADRENALINA DETONANTE DE UN RAYO
ENTRE ANTARES Y EL HORIZONTE. \$\$\$***

AGRADECIMIENTOS

No solo no habría sido posible sin ustedes los usuarios del ciber mundo apasionados por la naturaleza, sino también con todas las personas que estuvieron a mi alrededor desde el comienzo, en especial a mi familia y seres queridos. Algunos siguen aquí hasta hoy. ¡Gracias... totales!

Esta investigación fue financiada a través de la Universidad de Chile con fondos del Centro para la Investigación e Innovación en Fruticultura para la Zona Sur, por medio del proyecto CORFO 16PTECF5-66647. Además, contó con financiamiento proveniente de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Medioambiente de la Universidad de La Frontera, por medio de los proyectos PAI-ANID 7190085 y DIUFRO Iniciación DI21-0104 (financiado por la Dirección de Investigación de la UFRO).

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS.....	3
OBJETIVOS	3
Objetivo general	3
Objetivos específicos.....	3
MATERIALES Y MÉTODOS	4
1. Construcción de una base de datos “iNaturalist”	4
2. Difusión del proyecto dentro de un juego para ciencia ciudadana.....	4
3. Reconocimiento del árbol.....	4
4. Esconder y armar un “geocache”	5
5. Protocolos para la participación ciudadana.....	5
5.1. Protocolo para el armado del póster para el estudio del color y la morfología del fruto.....	5
5.1.1 Recolección y cosecha de frutos.....	6
5.1.2 Armado del poster.....	6
5.2 Protocolo para la toma de muestras para estudios sobre rendimiento del fruto y resistencia de la cáscara	7
5.3. Protocolo para el armado del herbario para evaluar la morfología y el área foliar.	7
6. Mediciones destructivas y no destructivas.....	7
6.1. Morfología de las hojas.....	7
6.2. Morfología de los frutos.	8
6.2.1 Diámetro polar y ecuatorial del fruto.....	8
6.2.2 Porcentaje de frutos moteados y frutos dobles.	8
6.2.3 Color principal del fruto maduro.	8
6.3 Índice de Precocidad.....	9
6.3.1 Grado de heterogeneidad del color del poster.	10
6.3.2 Cantidad de fruta.....	10
6.4 Propiedades mecánicas de la resistencia de la cáscara.....	11
6.5 Rendimiento y calidad de la nuez.....	11
7. Análisis estadísticos	11

RESULTADOS.....	13
1. Base de datos “iNaturalist”.....	13
2. Difusión en “Geocaching”.....	14
3. Evaluación de protocolos para la participación ciudadana.....	14
4. Caracterización del avellano chileno por región.....	15
5. Caracterización del avellano chileno por grado de urbanización.....	21
DISCUSIÓN.....	26
CONCLUSIONES.....	33
LITERATURA CITADA.....	34

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Promedio de las variables de caracterización de <i>Gevuina avellana</i> Mol. respecto a cada región de estudio.....	16
Cuadro 2. Matriz de probabilidades de las correlaciones respecto a las regiones de estudio.	17
Cuadro 3. Matriz de probabilidades de las correlaciones entre variables asociadas al color y variables de georreferenciación.....	19
Cuadro 4. Promedio de las variables de caracterización de <i>Gevuina avellana</i> Mol. respecto al grado de urbanización.	21
Cuadro 5. Matriz de probabilidades de las correlaciones respecto al grado de urbanización.	25

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Póster para estudio del color y morfología del fruto.	6
Figura 2. Visualización de frutas moteadas y con frutos dobles.....	8
Figura 3. Modelo lineal para la predicción del Índice de precocidad (IP) en <i>Gevuina avellana</i> Mol.....	9
Figura 4. Descripción del cálculo del Grado de heterogeneidad del color (GHC).	10
Figura 5. Descripción del cálculo de la Relación de la cantidad de fruta (RF).....	10
Figura 6. Base de datos “iNaturalist”.....	13
Figura 7. Biplot (ACP) para la clasificación de <i>Gevuina avellana</i> Mol. por región.	18

Figura 8. Regresiones lineales entre variables del color del fruto y la altitud.	19
Figura 9. Morfología de las hojas del último año de crecimiento en árboles maduros de <i>Gevuina avellana</i> Mol.....	20
Figura 10. Tipos de hojas de <i>Gevuina avellana</i> Mol. y patrones de crecimiento	20
Figura 11. Histogramas de la distribución del color principal de un fruto maduro	22
Figura 12. Biplot (ACP) para la clasificación de <i>Gevuina avellana</i> Mol. por grado de urbanización.	23
Figura 13. Diferencias entre grado de urbanización de <i>Gevuina avellana</i> Mol.....	24

ANEXOS

Anexo 1. Consideraciones para tomar una fotografía.....	38
Anexo 2. Consideraciones de la metodología utilizada en la resistencia de la cáscara	38
Anexo 3. Modelo de regresión lineal múltiple utilizado para la predicción de la resistencia de la cáscara de <i>Gevuina avellana</i> Mol.....	39
Anexo 4. Valores de los coeficientes de regresión y estadísticos asociados al modelo de regresión lineal múltiple de la resistencia de la cáscara de <i>Gevuina avellana</i> Mol.....	39
Anexo 5. Protocolo para el desarrollo de un póster para estudios del color y morfología del fruto	40
Anexo 6. Protocolo para el armado de un póster para evaluar morfología y área foliar	40
Anexo 7. Protocolo para la toma de muestras para estudios sobre rendimiento del fruto y resistencia de la cáscara	41

RESUMEN

La ciencia ciudadana es un enfoque de investigación científica en el que el público en general participa activamente en la recopilación de datos para proyectos científicos. Esta participación ha surgido como una excelente alternativa para aprovechar la tecnología disponible por cualquier persona, permitiendo abordar problemáticas como las de encontrar metodologías que optimicen los largos procesos que conlleva el fitomejoramiento de una especie nativa. Esta investigación utiliza y evalúa distintas herramientas digitales de ciencia ciudadana para la caracterización de germoplasma de avellano chileno (*Gevuina avellana* Mol.) que tiene potencial de desarrollo agronómico. El proyecto identificó individuos de esta especie, en las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos de Chile. Se evaluaron distintas características fenotípicas, como la morfología de las hojas y los frutos, el rendimiento de la nuez, indicadores de madurez, el grado de urbanización, el diámetro del tronco y la altura del árbol, además de propiedades mecánicas de la resistencia de la cáscara. Entre los resultados de aspectos de rendimiento del fruto se encontró que los valores de la relación del peso de la nuez con el peso total del fruto variaron entre un 34,62 y un 35,55% y que el promedio del peso de la nuez marcó una diferencia significativa en la región de Los Lagos y Los Ríos respecto a la región de La Araucanía, siendo un 12,85% superior en las primeras dos regiones. Esta caracterización evidenció distintos aspectos en la diversidad genética y generó información objetiva para orientar y avanzar en el proceso de domesticación de esta especie, fortaleciendo con ello el conocimiento del sistema silvoagropecuario ancestral en el que está inmerso el avellano.

Palabras clave: iNaturalist, domesticación, indicadores de madurez, rendimiento de la nuez.

ABSTRACT

Citizen science is a scientific research approach in which general public actively participates in data collection for scientific projects. This participatory approach has emerged as an excellent alternative to harness available technology, addressing challenges such as finding methodologies to optimize the lengthy processes involved in native plant breeding species. This study uses and assesses different digital citizen science tools for the germplasm of Chilean hazelnut (*Gevuina avellana* Mol.) characterization, which holds agronomic development potential. The project identified individuals of this species in La Araucanía, Los Ríos, and Los Lagos regions of Chile. Several phenotypic characteristics were assessed, including leaf and fruit morphology, nut yield, maturity indicators, urbanization degree, trunk diameter, and tree height, as well as mechanical properties such as shell resistance. Among the fruit yield aspects, this study found variations in nut weight to total fruit weight ratio values, ranged from 34.62% to 35.55%. The average nut weight showed a significant difference in Los Lagos and Los Ríos compared to La Araucanía, being 12.85% higher in the former two regions. This characterization revealed diverse aspects of genetic diversity and provided objective information to guide and advance the domestication process of this species, thereby enhancing our understanding of the ancestral agro-silvicultural system in which the hazelnut is embedded.

Keywords: iNaturalist, domestication, maturity indicators, nut yield.

INTRODUCCIÓN

La ciencia ciudadana es una forma de investigación colaborativa en la cual el público en general participa activamente en la generación de conocimiento científico, aportando datos, observaciones y contribuciones a proyectos de ciencia en colaboración con expertos. Este es un concepto relativamente nuevo en el mundo científico y ha cobrado importancia debido al alcance que ha tenido el avance de la tecnología en su capacidad para conectar información y situaciones individuales en distintos rincones del planeta para apoyar objetivos científicos específicos. La masificación del uso de teléfonos inteligentes ha permitido apoyar esta causa, debido a que son elementos multifuncionales y prácticos. Es difícil encontrar hoy en día a alguien que no tenga incorporado en su celular una cámara fotográfica, conexión a internet o GPS (Ebitu y Avery 2021; Graudal y Dawson, 2022). Además, en el dominio público existen una serie de aplicaciones digitales que han permitido dar a las investigaciones científicas un componente socio cultural, permitiéndole a los usuarios involucrarse voluntariamente y aportar en objetivos científicos atingentes a su propio territorio (Vohland y Zandstra, 2021).

“iNaturalist” es una red social creada por la Academia de Ciencias de California y por la “National Geographic Society” para compartir y aprender sobre biodiversidad. Posee una estructura digital confiable que le permite al usuario subir a su plataforma fotografías e información detallada de sus observaciones sobre la biodiversidad. Es una red de libre acceso con un potente algoritmo de reconocimiento de especies (Drury y Barnes, 2019). Desde el origen de la plataforma el año 2008, “iNaturalist” ha logrado clasificar más de 90 millones de observaciones con más de dos millones de usuarios registrados de todo el mundo (Killen y Chang, 2022; Mesaglio y Callaghan, 2021). Para la construcción de modelos de datos confiables, la ciencia ciudadana ha planteado distintas estrategias para el reclutamiento de los participantes en cada una de las experiencias que se han realizado hasta la fecha. Estas investigaciones han resultado favorables para la consolidación del uso de “iNaturalist” como metodología para generar la estructura de datos para la validación de sus hipótesis científicas. Las investigaciones realizadas con esta metodología de ciencia ciudadana han superado las expectativas de participación, logrando en algunos casos más de 500 observaciones de individuos distintos por proyecto en una amplia distribución geográfica. Además, se demostró que la estandarización de los datos es posible utilizando protocolos legibles y adecuados a la participación ciudadana (Drury *et al.*, 2019; Iwanycki y Primack, 2022; Killen *et al.*, 2022).

También existen distintas iniciativas de aplicaciones disponibles para todo público que tienen un enorme potencial para apoyar proyectos de ciencia ciudadana. En muchos de estos proyectos se han utilizado juegos como motor de información útil (Simperl y Reeves, 2018). Geocaching.com es una plataforma que proporciona actividades y juegos en el contexto de una búsqueda del tesoro, que interactúa con sus usuarios mediante tecnología de georreferenciación (O'Hara, 2008). Esta herramienta tiene una red de usuarios con gran potencial para proporcionar oportunidades que permitan fortalecer experiencias de ciencia ciudadana.

A partir de la exploración de la biodiversidad, la flora nativa se ha caracterizado por presentar aspectos interesantes para aportar al desarrollo de los sistemas agropecuarios, y son un

ejemplo de desarrollo sostenible, ya que al mismo tiempo que han servido como canal para conservar tradiciones y biodiversidad local, se han utilizado como sustento de algunos sectores de la agricultura familiar campesina, por generaciones. Por estas razones se han estudiado estrategias para fortalecer el desarrollo de especies nativas con potencial agronómico como el maqui, la murta o la avellana chilena (Muñoz-Sáez, 2019; Valdebenito y Molina, 2015).

El avellano chileno (*Gevuina avellana* Mol.) es una especie de la familia *Proteaceae*, nativa de Chile, cuyo fruto es una nuez de cáscara negra que se consume principalmente como fruto seco y tiene valiosas propiedades nutricionales, organolépticas y tecnofuncionales (Franco y Nuñez, 2005; Medel y Medel, 2000). Es un árbol siempreverde y de polinización entomófila que tiene un largo período de floración, desde diciembre hasta abril, dependiendo de las condiciones agroclimáticas (Álvarez y Valdebenito, 2020). Se ha evidenciado que tiene una adaptación ecológica que le permite crecer en un amplio rango de ambientes, pero no tolera bien ambientes secos ni salinos (Loewe-Muñoz, 1997). Se distribuye desde la región del Maule hasta la región de Aysén, entre los 35° y los 56°S, siendo especialmente abundante desde el sur de Valdivia hasta Aysén (Donoso y Gallo, 2004). A partir de un estudio en donde se amplificaron regiones polimórficas del genoma del cloroplasto se identificó una población en la zona de Los Queules, en la provincia de Cauquenes de la Región del Maule, que presentó una alta diversidad intraespecífica, y otra macrozona correspondiente al haplotipo más frecuente distribuido entre la región de La Araucanía y la región de Los Lagos (Ernst, 2011). Existen pocos antecedentes sobre las dinámicas poblacionales en base a rasgos fenotípicos en esta zona geográfica de mayor abundancia (Medel *et al.*, 2000). Se han estudiado componentes del rendimiento y aspectos de la morfología de los frutos de una población en la región de Ñuble. En esta población, el peso seco de la nuez tuvo una media de 0,58 g, mientras que los valores de la relación del peso seco de la nuez comestible y el peso total del fruto han variado en distintas zonas de Chile, alcanzando un rango entre 28% y 48% (Álvarez *et al.*, 2020). La rigidez de la cáscara también es un valor importante en la estimación de la eficiencia durante el procesamiento del fruto, esta variable depende del estado de deshidratación del pericarpio, y de la cutícula (Cortat y Barbosa, 2021).

La Macadamia, especie que ha tenido un amplio desarrollo comercial en Oceanía, Sudáfrica, Centroamérica, Hawaii, California y Brasil, también pertenece a la familia *Proteaceae* y ha sido utilizada como referencia para estudiar la avellana chilena (Birch y Yap, 2010; Mai y Hardner, 2021). Estudios previos realizados para determinar el momento óptimo de recolección han encontrado que depende de variables como el grado de coloración de la superficie del fruto, asociado a un contenido de antocianinas (Valenzuela-Risco, 2018; Mast y Willis, 2008). Las condiciones óptimas para estimar el momento de recolección de la avellana y aspectos relevantes a su rendimiento juegan un papel importante en las prácticas culturales asociadas a esta especie.

Esta investigación busca evaluar la factibilidad de utilizar herramientas digitales para ciencia ciudadana como modelo para la caracterización del germoplasma de una especie nativa, entregando en este caso, la base para determinar los factores que permiten mejorar la eficiencia en este sistema silvoagropecuario a través del fitomejoramiento del avellano chileno.

HIPÓTESIS

Las herramientas digitales de ciencia ciudadana permiten generar modelos confiables para identificar germoplasma de valor agronómico en el avellano chileno (*Gevuina avellana* Mol.).

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar protocolos de caracterización del fenotipo que utilizan principios de ciencia ciudadana como alternativa para caracterizar ejemplares de avellano chileno (*Gevuina avellana* Mol.) en la región de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos.

Objetivos específicos

Caracterizar desde el punto de vista fenotípico ejemplares de avellano chileno en cuanto a la morfología de las hojas y frutos, el potencial de rendimiento, la calidad de la nuez, las propiedades mecánicas de la resistencia de la cáscara y el grado de urbanización.

Evaluar estrategias para la ejecución de protocolos basados en ciencia ciudadana digital que se orienten a la caracterización fenotípica del avellano chileno para generar una base de pre-fitomejoramiento de la especie.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Construcción de una base de datos “iNaturalist”.

Para establecer una ruta de muestreo con herramientas de ciencia ciudadana se utilizó la aplicación “iNaturalist” basado en observaciones realizadas por usuarios de la aplicación mediante un teléfono inteligente con disponibilidad de conexión a Internet, GPS y cámara fotográfica incorporada. Se creó un proyecto dentro de la plataforma llamado “NuezSureña” y se obtuvieron todas las observaciones de avellanos chilenos cargadas por los usuarios de la aplicación distribuidas entre las regiones de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Se obtuvo una base de datos con las observaciones disponibles desde el origen de la plataforma hasta diciembre de 2022. Este archivo contiene información relevante sobre la georreferenciación, la fecha de la observación, y fotografías para cada uno de los árboles. A partir de la fotografía del árbol se estimó mediante una inspección visual el estado fenológico y el grado de madurez. Mediante la georreferenciación se revisó con “Google Maps” si el individuo tenía acceso público o privado, si el árbol tenía visibilidad en fotografías en el modo “Street view” y se estimó, a partir del grado de urbanización de la ubicación, si había o no acceso a conexión a internet. Luego se cargó un filtro para obtener solo los árboles maduros que cumplieran con las características de estar en zonas con buena conectividad y de acceso público. De esta forma se identificaron 50 individuos distribuidos entre la superficie de estudio.

2. Difusión del proyecto dentro de un juego para ciencia ciudadana.

Para 25 de los 50 ejemplares identificados se adjuntaron las coordenadas a la red social Geocaching.com. Esta es una red mundial de aventureros que utilizan esta plataforma para acceder a desafíos recreativos para encontrar tesoros georreferenciados. En esta estrategia de difusión se pretende explorar el juego y la recreación para que el usuario se motive a colaborar con la investigación. Desde el juego se puede acceder al árbol muestreado, los usuarios de esta red pueden conocer en terreno cómo acceder a la red de “iNaturalist” para participar del proyecto. Se creó una cuenta en “Instagram” para invitar a las personas a participar del juego, desde esta red social se puede acceder a las coordenadas geográficas y a las pistas para encontrar los tesoros escondidos.

3. Reconocimiento del árbol.

Se identificaron ejemplares de avellano chileno basado en los datos obtenidos desde “iNaturalist”. Se rastreó la ubicación de acuerdo con la información de georreferenciación de cada observación. Al llegar, se revisó si había disponibilidad de acceso a conexión a internet. Se identificó y evaluó el estado del árbol en función de la fotografía disponible previamente en la plataforma y se sacaron nuevas fotografías de su estado fenológico. En caso de no encontrarlo, se buscaron otros ejemplares en la cercanía. Cuando se encontró un ejemplar, se registró su georreferenciación con el GPS del teléfono inteligente u otro dispositivo y se realizaron los protocolos relacionados a mediciones en terreno. En caso de que no se encontrara ningún ejemplar, se notificó a la administración de “iNaturalist”. Con una huincha y un hipsómetro se obtuvieron el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura del árbol respectivamente. Se caracterizó cada ejemplar en función del grado de urbanización. Cuando el ejemplar se encontró ubicado en una ciudad, ya sea bordeando camino de ripio o

pavimento, o cuando se encontró formando parte del arbolado de una plaza, bandejón central o vereda municipal, fue categorizado como un ejemplar “urbanizado”. Por el contrario, cuando el árbol se encontró presente en un bosque nativo, ya sea al interior de un parque nacional o un sendero alejado de un asentamiento urbano, sin tránsito de vehículos y creciendo en estrecha cercanía con otras especies del bosque nativo se categorizó como un ejemplar “nativo”.

4. Esconder y armar un “geocache”.

Se buscó un lugar adecuado para esconder el “geocache”, situándolo en un lugar seguro y accesible para los jugadores. El “geocahche” consistió en un tubo plástico resistente de color negro, de 150 mm de largo con 25 mm de diámetro, con una tapa rosca. Se escondió en postes de luminarias o bancas, en orificios en el concreto o en cualquier elemento disponible en el espacio público cercano al árbol. En algunos casos fue necesario agregar un imán si es que había elementos metálicos, para mejorar la adherencia al escondite, o se utilizó un alambre para colgarlo o amarrarlo. El “geocache” incluyó 4 bolsas plásticas pequeñas sellables para quienes tomarían muestras, una libreta pequeña para anotaciones de los participantes con información sobre el proyecto “NuezSureña” y un insecto de juguete de plástico pequeño para intercambiar tesoros con el usuario. Finalmente se obtuvieron las coordenadas del “geocache” utilizando un GPS, para posteriormente registrarlo en el portal del juego. A cada uno de los “geocaches” se le escribió una historia relacionada con la cultura del avellano chileno y el lugar en el que se encuentra, que invita al usuario a aceptar el desafío.

5. Protocolos para la participación ciudadana.

Se desarrollaron instructivos fáciles de entender en formato escrito, con un alto grado de replicabilidad, buscando disminuir los factores de error en la toma de muestras y estandarizar la información para la caracterización de los árboles. Se incluyó la utilización de elementos al alcance de cualquier persona en un contexto recreativo y educativo. Es importante señalar que en esta investigación las estrategias de difusión no fueron evaluadas en función de la cantidad de respuestas externas a la ejecución de los protocolos planteados, sino más bien, en cómo estos protocolos fueron capaces de generar una caracterización objetiva del avellano chileno, mediante la simulación de su ejecución. A modo de una evaluación indirecta, se desarrolló una encuesta de 15 preguntas realizadas a un público general, quienes no tenían conocimiento previo sobre el proyecto, de forma de identificar la motivación y disposición de las personas a la ejecución de los protocolos. Se utilizaron imágenes de los protocolos ya resueltos para poder evaluar la percepción de posibles usuarios sobre su grado de dificultad.

5.1. Protocolo para el armado del póster para el estudio del color y la morfología del fruto.

Se le propuso al usuario el armado de un poster digitalizado con muestras de algunos frutos por árbol observado con el objetivo de usarlo para estudios del color de madurez y morfología del fruto. Esto permitió la digitalización de una imagen para estudiar la distribución del color de la muestra con relación al estado fenológico. Se desarrolló en dos partes, una para los frutos recogidos del suelo y otra para los frutos en el árbol.

5.1.1 Recolección y cosecha de frutos.

Una vez reconocido un árbol de la especie, el usuario debió recolectar desde el suelo, todos los frutos y cáscaras que sean posibles en un tiempo no mayor a 10 minutos y luego colocarlos en una bolsa plástica pequeña. Luego el usuario cosechó frutos desde el árbol en un tiempo aproximado de 5 minutos. Se le pidió recoger los frutos desde distintos puntos del árbol solo si era posible acceder a ellos sin la necesidad de una escalera o de tener que subirse al árbol, para evitar cualquier accidente y que luego los colocara en otra bolsa plástica, buscando una muestra representativa. Era posible que el árbol se encontrara en un estado fenológico en donde no tuviera frutos o que no hubiera frutos en el suelo, como también podía esperarse que hubiera frutos en ambas partes, por ello se estableció un tiempo límite para buscar. Se le pidió al usuario contar el número de frutos obtenidos en cada bolsa al finalizar los tiempos de búsqueda y finalmente registrar este valor.

5.1.2 Armado del poster.

Una vez recolectadas las muestras en terreno, se le pidió al usuario trasladarlas a un lugar con mayor comodidad para fotografiarlas con un teléfono inteligente (Anexo 1). El usuario seleccionó 20 frutos recolectados desde el suelo y realizó una primera captura fotográfica (Figura 1). Para la segunda captura fotográfica correspondiente a los frutos del árbol el usuario repitió los pasos anteriores con una muestra de 20 frutos cosechados en el árbol. En ambas fotografías se utilizó una moneda de 100 CLP como referencia. Finalmente, se le pidió retornar los frutos del suelo y del árbol a la bolsa respectivamente.



Figura 1. Póster para estudio del color y morfología del fruto. Para construir esta imagen se utilizaron 20 frutos. Primero se armó un cuadrado de 3 frutos por lado, situando la moneda como su centro, y luego afuera de este, otro cuadrado con 4 frutos por lado.

Para completar las pruebas, el usuario incorporó la(s) fotografía(s) obtenidas a una nueva observación en “iNaturalist”, junto con fotografías del ejemplar. Por medio de una nota en la plataforma en esta misma observación, se registró el número total de frutos obtenidos desde el árbol y desde el suelo. Se le recomendó al usuario almacenar a baja temperatura la bolsa con las muestras de frutos obtenidas desde el árbol, para evitar la descomposición del color o la aparición de hongos antes de tomar la fotografía y para conservar mejor el color de las muestras.

5.2 Protocolo para la toma de muestras para estudios sobre rendimiento del fruto y resistencia de la cáscara.

Utilizando la metodología descrita en 5.1.1, se recuperó la muestra correspondiente a cada observación, estableciendo un contacto directo con el usuario para poder trasladarla al laboratorio en donde se realizaron pruebas destructivas y no destructivas del fruto para hacer mediciones sobre rendimiento del fruto y propiedades mecánicas de la cáscara.

5.3. Protocolo para el armado del herbario para evaluar la morfología y el área foliar.

Se entregaron las bases para identificar una ramilla de un año de edad, que tuviera idealmente hojas bien formadas y sanas. Estas corresponden a las hojas que crecen al final de la ramilla, y que generalmente están en crecimiento y acompañadas con yemas florales. Se le pidió al usuario cortar la hoja con unas tijeras de poda, cerca del pecíolo, evitando dañar la lámina. Luego el participante del proyecto colocó la hoja entre dos superficies planas de papel o cartón, idealmente un libro o cuaderno. Con este protocolo se aseguró un correcto reconocimiento, corte, conservación y posterior estudio de la hoja. Se le pidió al usuario usar la misma metodología que en el Anexo 1 para tomar la fotografía.

6. Mediciones destructivas y no destructivas.

A partir de 50 muestras tomadas mediante los protocolos descritos en la sección 5, se seleccionó el material necesario para la medición de las distintas variables que se abordaron en esta investigación. Estas variables se componen en cinco temáticas de caracterización: (1) Morfología de las hojas, (2) Morfología de los frutos, (3) Índice de Precocidad, (4) Propiedades mecánicas de la resistencia de la cáscara y (5) Rendimiento y calidad de la nuez.

6.1. Morfología de las hojas.

A partir del protocolo 5.3 para el armado de un herbario para evaluar morfología y área foliar, se trabajó la imagen con el software ImageJ para obtener una medida de la superficie de la hoja del año respectiva a cada observación en $\text{cm}^2\text{hoja}^{-1}$. Para ello se cargó la imagen al software. Se estableció una escala para calibrar la imagen, utilizando una moneda de 100 CLP. Esto permitió establecer una relación de píxelescm^{-1} . Se utilizó la función “Vara Mágica” para seleccionar la hoja, variando el grado de “Legacy” para ajustar mejor la imagen a su perímetro. Se midió el área foliar utilizando la función de medición de área del software.

6.2. Morfología de los frutos.

Desde la información que se desprende del protocolo 5.1, mediante pruebas no destructivas del fruto, se obtuvieron datos de la morfología de los frutos, los que fueron obtenidos mediante el procesamiento de la imagen digital utilizando el software ImageJ. Se registró el valor del diámetro polar y ecuatorial de cada fruto del poster, el porcentaje de frutos moteados y frutos dobles y el color principal del fruto maduro por muestra.

6.2.1 Diámetro polar y ecuatorial del fruto.

Desde el total de frutos de la imagen se realizó una prueba no destructiva que consistió en la medida en milímetros (mm) del diámetro polar y ecuatorial del fruto utilizando el software ImageJ mediante la metodología usada en la sección 6.1. Paralelamente, a partir del desarrollo del protocolo 5.2, desde la muestra de frutos del suelo, se seleccionaron 20 frutos con cáscaras maduras y uniformes, y se realizaron mediciones físicas del diámetro polar y ecuatorial con un pie de metro digital.

6.2.2 Porcentaje de frutos moteados y frutos dobles.

A partir de la muestra de frutos del suelo de la sección 5.1, se contó el número total de frutos moteados, es decir, que presentaron regiones de pigmentación irregular en la superficie del fruto, para luego sacar un porcentaje respecto al total de frutos de la muestra. También, en esta misma muestra, se registró el porcentaje de frutos dobles, es decir, aquellos frutos que se desarrollaron en una yema común. Estos se identificaron cuando dos frutos compartieron un mismo pedicelo (Figura 2).



Figura 2. Visualización de frutas moteadas y con frutos dobles.
A: Frutas moteadas, B: Frutos dobles.

6.2.3 Color principal del fruto maduro.

Esta metodología tenía como objetivo encontrar una medida cuantitativa del color asociado al estado de madurez del fruto de una muestra obtenida desde el suelo a partir de los

elementos del póster desarrollado en la sección 5.1. Primero, las imágenes de cada póster se cargaron en el software "ImageJ" y se utilizó la función "Vara Mágica" para seleccionar automáticamente el perímetro asociado a cada uno de los elementos del póster. Posteriormente, se aplicó la función "Histograma" para determinar la frecuencia con la que aparecen todos los valores de intensidad de color por cada fruta. Con el fin de simplificar el estudio, se trabajó en base a la escala de grises, considerando un rango unidimensional entre [0,255], en lugar de utilizar las tres dimensiones del color rojo, verde y azul (RGB) que proporciona por defecto cada píxel de la fotografía. Para identificar el color más común en la imagen, se determinó la moda del histograma (M). Luego, se obtuvo la moda de la moda (MM) considerando todos los frutos de la muestra. Para filtrar los frutos no principales, se descartaron aquellos que se encontraban fuera del intervalo de confianza, construido utilizando el valor MM más o menos la desviación estándar de los frutos en la muestra. El promedio de los frutos seleccionados de esta forma proporcionó un valor cuantitativo para caracterizar el color principal del fruto maduro por muestra. Además, se corroboró cualitativamente que los frutos seleccionados tuvieran el mismo color y estuvieran efectivamente maduros.

6.3 Índice de Precocidad.

Se desarrolló un modelo que proporciona una variable cuantitativa para representar una escala de precocidad en las muestras obtenidas. Esta variable depende de la diversidad de colores presentes en el póster, que incluye las capturas de los frutos del suelo y del árbol, así como la cantidad de frutas presentes en cada muestra. Cabe destacar que estas mediciones son de carácter no destructivo. El enfoque utilizado involucra una combinación lineal de variables, las cuales han sido ponderadas en función de su relevancia en la detección de la precocidad de los frutos del árbol, es decir, su grado de madurez. Esto se propone como un posible estimador de la época de recolección de cada ejemplar, basándose en la interpretación del color de los elementos del póster. En la Figura 3 se presenta el modelo lineal para la predicción del Índice de Precocidad (IP). En este contexto, se trabajó bajo el supuesto que las variables que describen la diversidad de colores en los frutos del árbol y del suelo tienen una mayor importancia en la estimación, mientras que se le otorga una menor ponderación a la cantidad de fruta en el árbol y en el suelo. Aunque estas últimas también pueden indicar el estado de precocidad de los frutos del árbol, se asume que podrían ser menos sensibles a las variaciones en el desarrollo del fruto.

$$IP = 1 - (0,4 GHCS + 0,4 GHCA + 0,1 RFS + 0,1 RFA)$$

Figura 3. Modelo lineal para la predicción del Índice de precocidad (IP) en *Gevuina avellana* Mol. IP: Valor entre 0 y 1, donde 0 indica que los frutos del árbol están en un estado de maduración tardío absoluto y 1 indica que todos los frutos están en estado óptimo para ser recolectados. a: Frutos obtenidos desde la sección del árbol; s: Frutos obtenidos desde la sección del suelo. GHC: Grado de heterogeneidad del color de los frutos del poster por sección; RF: Relación de cantidad de frutos por sección.

6.3.1 Grado de heterogeneidad del color del poster.

Se obtuvieron datos para la caracterización de la pigmentación del total de elementos del póster utilizando el método descrito en 6.2.3 para determinar la variable M asociada a cada fruto de la muestra. Mediante este método se obtiene una distribución de la pigmentación de los frutos de la imagen. Se utilizó la desviación estándar de los valores de M asociada a cada imagen del árbol y del suelo, ya que este valor está relacionado con el estado de madurez de los frutos de cada ejemplar. En este modelo la existencia de un valor alto de desuniformidad del color de la muestra de frutos del árbol se debe en gran parte a que la totalidad de los frutos aún no alcanza la madurez, es decir, los frutos del ejemplar podrían encontrarse en un estado tardío, no apropiado para la recolección o bajo la condición de estados de desarrollo del fruto alternados. Por el contrario, cuando hay mayor uniformidad en el color de la muestra, significa que en el ejemplar se dan las condiciones que promueven el desarrollo de una pigmentación uniforme y equilibrada en el dosel. La descripción de cómo se calculó este parámetro se detalla en la Figura 4.

$$\text{GHCa} = \frac{\text{DEa}}{100} \quad \text{GHCs} = \frac{\text{DEs}}{100}$$

Figura 4. Descripción del cálculo del Grado de heterogeneidad del color (GHC). GHC: Es un valor entre 0 y 1, siendo 0 cuando todos los frutos tienen el mismo color y 1 cuando los frutos de la muestra tienen una amplia variación de colores. DE: Desviación estándar del color de los frutos asociados a cada póster realizado por ejemplar, considerando cada una de las avellanas que lo componen. a: Frutos obtenidos desde la sección del árbol; s: Frutos obtenidos desde la sección del suelo.

6.3.2 Cantidad de fruta.

Estas son dos variables cuantitativas que indican la cantidad de fruta en el árbol y en el suelo. Se espera que un ejemplar que tenga un valor de cero para los frutos en el árbol sea más temprano, debido a que implica que los frutos de la temporada ya cayeron. Paralelamente se espera que cuando no hay frutos en el suelo, el ejemplar tenga un valor bajo en el índice de precocidad. Se trabajó bajo el supuesto de que, al ser un ejemplar adulto, el árbol siempre tendrá un grado mínimo de fructificación, por lo que es poco probable encontrar el caso que el árbol no desarrolle ningún fruto. Este valor se obtuvo desde el desarrollo del protocolo de la sección 5.1. El detalle para el cálculo de esta variable se observa en la Figura 5.

$$\text{RFa} = \frac{\text{NFa}}{500} \quad \text{RFs} = \frac{\text{NFs}}{500}$$

Figura 5. Descripción del cálculo de la Relación de la cantidad de fruta (RF). RF: Es un valor entre 0 y 1 que indica la cantidad de frutos de la muestra por ejemplar muestreado, siendo 0 cuando no hay frutos y 1 cuando la sección muestreada está cargada de frutos. NF: Número de frutos de la muestra; a: Frutos obtenidos desde la sección del árbol; s: Frutos obtenidos desde la sección del suelo. 500: Valor límite que representa una situación hipotética arbitraria en donde el usuario fue capaz de recolectar esta cantidad de frutos en el tiempo dado.

6.4 Propiedades mecánicas de la resistencia de la cáscara.

A partir de la muestra de 20 frutos obtenidos de la sección 6.2.1, se limpió la superficie de las cáscaras y luego se procedió a secar la muestra en un horno (MEMMERT 854 Schwabach W) durante 48 hrs a 90° C para homogeneizar la humedad, como se propone en la metodología desarrollada por Álvarez *et al.* (2020). Se configuró un torquímetro digital (WURTH) para determinar el punto de ruptura en Newton metros (Nm^{-1}), el cual se identificó mediante el sonido de “crack” e inspección visual del fruto en una prensa. También se evaluaron otras variables durante el proceso, como el grado de rotación del eje de la prensa, el tiempo requerido para alcanzar un umbral de resistencia inferior ($0,4 \text{ Nm}^{-1}$) y el tiempo requerido para alcanzar el punto de ruptura de la cáscara. Los detalles de la metodología están explicados en el Anexo 2.

6.5 Rendimiento y calidad de la nuez.

Se obtuvieron 20 frutos partidos desde el desarrollo de las pruebas destructivas de resistencia de la cáscara de la sección 6.4, los cuales se pesaron individualmente con una balanza digital de bolsillo. Se removió y separó cuidadosamente la cáscara de la nuez, para determinar el peso de estos dos componentes por fruta (g*fruto^{-1}).

7. Análisis estadísticos

A partir de las observaciones totales realizadas a 50 ejemplares de avellano chileno recopiladas a partir de una base de datos construida a partir del uso de herramientas digitales para ciencia ciudadana, se realizaron análisis estadísticos descriptivos univariados a través de tablas de frecuencias y gráficos. Se agruparon los resultados de las mediciones en un archivo con una columna de clasificación para la región, otra para el ambiente, el grado de urbanización, otra para repeticiones de ejemplares dentro de un mismo ambiente y para cada una de las variables cuantitativas estudiadas. Con el objetivo de estudiar posibles correlaciones que pudieran ocurrir entre las variables y a modo de análisis exploratorio de la interacción se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) mediante su representación gráfica a través de un biplot (De la Vega y De la Fuente, 2003). Se revisó la significancia de los valores de correlación mediante el análisis de las probabilidades de la matriz de correlaciones.

Mediante un análisis de varianza se evaluó si había diferencias entre las regiones de estudio y el grado de urbanización en cada una de las variables. Se analizaron los datos combinando este último análisis datos con una prueba de contrastes para el caso del análisis por región y se utilizó la prueba de LSD Fisher para establecer diferencias significativas entre las medias. Para las variables asociadas al color, como el índice de precocidad, el grado de heterogeneidad del color y el color principal del fruto maduro, se realizó un análisis de las probabilidades de la matriz de correlaciones, considerando factores de georreferenciación, como la latitud, la longitud y la altitud. Se desarrollaron gráficos en el caso existiesen correlaciones lineales significativas.

Se utilizaron las siguientes abreviaturas para presentar los resultados: ALT: Altura del árbol (m), DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm), AF: Área foliar de una hoja (cm²), DBL: Porcentaje de frutos dobles (%), MTD: Porcentaje de frutas moteadas (%), CP: Color principal de un fruto maduro, D-EC: Diámetro ecuatorial del fruto (mm), D-POL: Diámetro polar del fruto (mm), PC: Peso de la cáscara (g), PN: Peso de la nuez (g), PN/PT: Relación Peso Nuez/Peso Total del fruto (%), IP: Índice de precocidad, RC: Resistencia de la cáscara (Nm⁻¹), NF: Número de frutos de la muestra del suelo. Los análisis estadísticos y los gráficos fueron todos realizados en el software InfoGen versión 2016.

RESULTADOS

1. Base de datos “iNaturalist”

El proyecto “Nuez Sureña” creado en “iNaturalist” mostró una tasa de actividad de 0,23 observaciones nuevas por día desde su creación en mayo de 2022 hasta enero de 2024. Hasta esta última fecha el proyecto registró un total de 503 observaciones realizadas por 262 observadores distintos (Anexo 7). El mapa con las observaciones del proyecto y el listado de ambientes recorridos se pueden observar en la Figura 6. Las estrategias de difusión del proyecto no fueron suficientes para lograr vincular a los usuarios de “iNaturalist” a la ejecución de los protocolos establecidos en esta investigación, pero utilizando la metodología establecida en la sección 1, se obtuvo una base de georreferenciación de avellanos chilenos idóneos para esta caracterización distribuidos en la superficie de estudio, abarcando 23 ambientes distintos distribuidos entre la región de La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos. Con este listado fue posible realizar la simulación de la ejecución de los protocolos de ciencia ciudadana digital en cada uno de los 50 ejemplares.

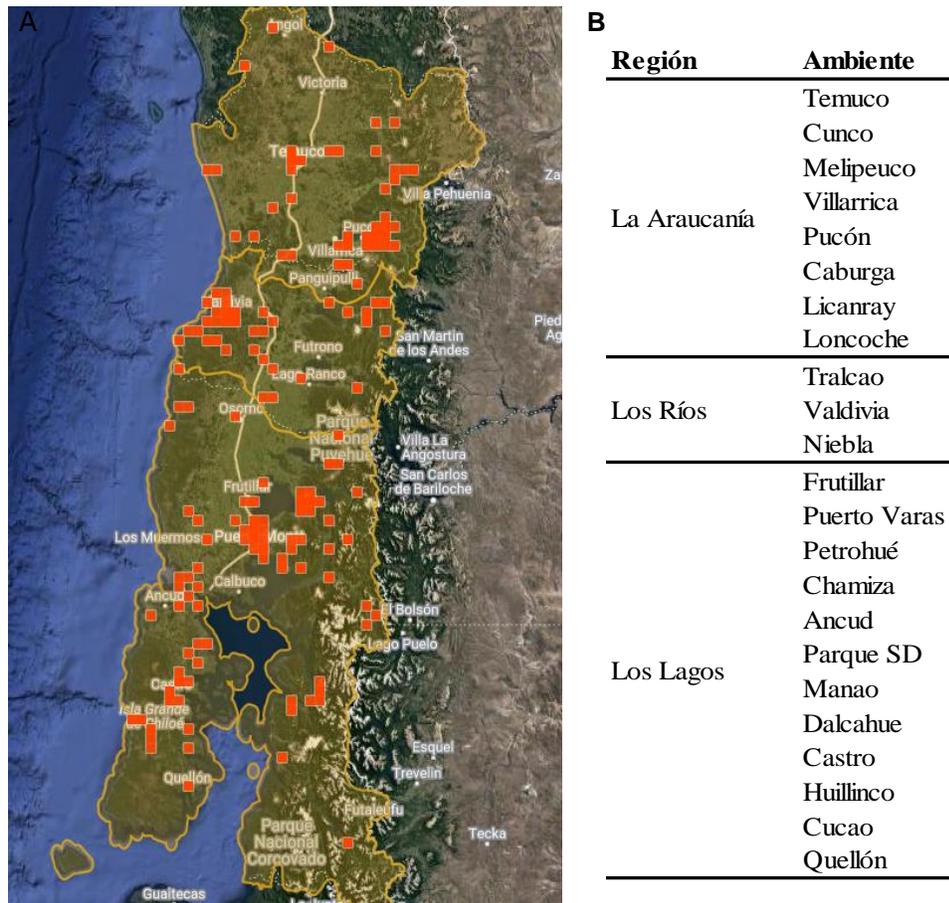


Figura 6. Base de datos “iNaturalist”. A: Mapa de observaciones de *Gevuina avellana* Mol. del proyecto “NuezSureña”, extraído desde la plataforma el 19-11-2022. Un punto rojo corresponde a un ejemplar. B: Listado de ambientes recorridos durante el muestreo, clasificados según región de estudio.

2. Difusión en “Geocaching”

En cuanto a la estrategia de difusión del proyecto dentro de una modalidad de juego, se logró esconder efectivamente “geocachés” en 25 de los 50 avellanos chilenos muestreados. Los resultados para la evaluación del juego consideran el periodo correspondiente entre los meses de abril de 2023 y enero de 2024. En este periodo se han logrado encontrar el 64% de ellos, con una buena recepción respecto a la “jugabilidad” y a la historia. El 32% de los encontrados ha sido encontrado más de una vez por distintos usuarios de la plataforma y se han realizado un total de 34 búsquedas efectivas. El 12% ha sido desactivado por moderadores de la plataforma por falta de mantenimiento. El uso de esta estrategia de difusión, sin embargo, no ha sido suficiente para lograr vincular a los usuarios de “Geocaching” a la ejecución de los protocolos de muestreo establecidos en esta investigación, ya que ninguna de las búsquedas efectivas ha cargado alguna información sobre su realización.

3. Evaluación de protocolos para la participación ciudadana.

Se desarrollaron efectivamente protocolos de participación ciudadana en formato escrito y en video tutorial. Estos consistieron en un protocolo para el desarrollo de un póster para estudio del color y morfología del fruto (Anexo 5), otro para protocolo para el armado de un herbario para evaluar morfología y área foliar (Anexo 6) y finalmente un protocolo para la toma de muestras para estudios sobre el rendimiento del fruto y la resistencia de la cáscara (Anexo 7). Estos protocolos fueron ejecutados mediante la simulación de la experiencia de usuarios del sistema de ciencia ciudadana aquí planteado en cada uno de los lugares de la base de datos de ejemplares de avellano chileno georreferenciados construida en la sección 1.

Los resultados de la encuesta para evaluar la disposición y motivación de las personas a la ejecución de los protocolos de ciencia ciudadana se basaron en una muestra de 31 personas provenientes de la Región Metropolitana. Un 94,7% de los encuestados afirmaron haber conocido previamente la aplicación “Pokémon Go” como un juego que utiliza georreferenciación, pero solo un 21,1% afirmó haber conocido previamente “iNaturalist” y “Geocaching”. El 42,9% de las personas respondió no haber conocido previamente al avellano chileno, y un 7,1% conocía efectivamente sus flores para su reconocimiento. Solo el 7,1% de los encuestados mostró una disposición negativa para realizar los protocolos de recolección y cosecha de frutos. El 50% estimaron que podían demorarse 5 min en recoger 50 frutos del suelo y un 57,1% estimaron que podrían demorarse 5 min en cosechar 25 frutos del árbol. El 71,4% de los encuestados mostró una buena disposición para desarrollar el poster para estudios del color y morfología del fruto, y el 85,7% le asignó un grado de dificultad de 1 a 5 a esta actividad (Siendo 1: Muy Fácil y 10: Muy Difícil). Un 81,5% de los encuestados respondieron que serían capaces de replicar el protocolo para armado de un herbario para evaluar morfología y área foliar y, utilizando la misma escala anterior, un 92,9% le asignó a este desafío un grado de dificultad de 1 a 5. Sobre el protocolo para la toma de muestras para estudios sobre rendimiento del fruto y resistencia de la cáscara, un 67,9% se mostró dispuesto a almacenar avellanas en su propio refrigerador durante algunos días. Con respecto a las motivaciones principales de los encuestados para realizar estas pruebas en un contexto de un juego, un 42% afirmaron que participarían en el juego sabiendo previamente que con ello podrían aprender cosas nuevas, y estas personas prefirieron esta

alternativa por sobre la que incluía jugar en respuesta a incentivos o jugar para aportar al desarrollo de la agricultura local.

4. Caracterización del avellano chileno por región

Se analizaron un total de 954 observaciones de frutos correspondientes al total de las muestras orientadas a pruebas destructivas de los 50 ejemplares. Mediante un análisis de varianza se obtuvieron diferencias estadísticas entre los valores de cada una de las variables de caracterización en función de la región en la que estaba ubicado cada ejemplar, los que también fueron sometidos a una prueba de contrastes, debido a que solo el 16,24% de los datos correspondieron a la región de Los Ríos, lo cual indicó un desbalance en los grupos de medias a comparar. Para las variables de caracterización asociadas al color del fruto se analizaron 4076 frutos correspondientes a la totalidad de los frutos recolectados desde el suelo y del árbol. Los resultados de los promedios de todas las variables se observan en el Cuadro 1.

Con relación a la morfología del fruto, se observó que las variables MTD y DBL presentaron un comportamiento diferenciado por región. Para el caso de MTD en la región de Los Lagos este valor es 2,3 veces superior al promedio entre la región de La Araucanía y Los Ríos, con $P < 0,001$. Para el caso de DBL se observó una incidencia de un 0,92% en este fenómeno en la región de Los Lagos, marcando una tendencia al comparar este valor con la nula aparición de esta condición en los frutos de las otras regiones (Cuadro 1). La región de La Araucanía obtuvo un valor promedio de PN que es un 12,85% menor que el promedio de las otras dos regiones ($P < 0,05$), como se observa en el Cuadro 1. Al observar el Cuadro 2, en la matriz existen correlaciones fuertes entre las variables de rendimiento y calidad de la nuez, por ejemplo, las que se dan entre PC y PN con D-EC, ambas con un valor $P < 0,0001$. Se observó además en el gráfico ACP de la Figura 7 que estas correlaciones son positivas por presentar un ángulo agudo entre sus vectores. El valor máximo de D-EC fue de 18 mm correspondiente a un ejemplar en Chamiza (región de Los Lagos), en este mismo árbol se dio el valor máximo del peso de la nuez en esta región con 0,7 g por fruto.

Cuadro 1. Promedio de las variables de caracterización de *Gevuina avellana* Mol. respecto a cada región de estudio.

Variable	Región					
	La Araucanía		Los Ríos		Los Lagos	
	Media	EE	Media	EE	Media	EE
ALT (m)	10,16 a	1,48	14,45 a	2,15	11,72 a	1,27
DAP (cm)	28,62 a	2,35	28,70 a	3,52	23,86 a	2,04
AF (cm²)	127,62 a	13,75	124,60 a	20,05	105,99 a	11,83
MTD (%)	11,47 a	0,03	14,20 a	0,05	29,01 b	0,03
DBL (%)	0,00 a	0,02	0,00 a	0,02	0,92 a	0,00
D-EC (mm)	14,19 a	0,06	14,53 a	0,08	14,51 a	0,06
D-POL (mm)	18,17 a	0,10	18,79 a	0,11	18,81 a	0,09
CP	19,63 a	0,95	19,55 a	1,44	22,06 a	1,02
IP	0,93 a	0,01	0,93 a	0,01	0,91 a	0,01
RC (Nm⁻¹)	1,10 a	0,02	1,00 b	0,02	1,07 a	0,02
PC (g)	0,66 a	0,01	0,70 a	0,01	0,75 a	0,01
PN (g)	0,35 a	0,00	0,39 b	0,00	0,40 b	0,00
NF	70,83 a	10,91	75,38 a	16,36	87,88 a	9,45
PN/PT (%)	34,95 a	0,00	35,55 a	0,00	34,62 a	0,00

ALT: Altura del árbol (m), DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm), AF: Área foliar de una hoja (cm²), MTD: Porcentaje de frutas moteadas (%), DBL: Porcentaje de frutos dobles (%), D-EC: Diámetro ecuatorial del fruto (mm), D-POL: Diámetro polar del fruto (mm), CP: Color principal de un fruto maduro, IP: Índice de precocidad, RC: Resistencia de la cáscara (Nm⁻¹), PC: Peso de la cáscara (g), PN: Peso de la nuez (g), NF: Número de frutos de la muestra del suelo, PN/PT: Relación Peso Nuez/Peso Total del fruto (%). Se realizó la prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

La relación PN/PT tiende a ser superior en la región de Los Ríos con un valor promedio de 35,55%, sin embargo, no existe una diferencia significativa en el análisis de varianza. Para RC el valor del punto de ruptura no fue inferior a 1 Nm⁻¹ en ninguna de las regiones. Sin embargo, se detectó una diferencia significativa entre la región de Los Ríos y las otras dos regiones en estudio, con una menor resistencia de la cáscara en frutos colectados de Los Ríos ($P < 0,001$) como se observa en el Cuadro 1.

Cuadro 2. Matriz de probabilidades de las correlaciones respecto a las regiones de estudio.

Variables	ALT	DAP	AF	MTD	DBL	D-EC	D-POL	CP	IP	RC	PC	PN	NF
ALT													
DAP	0,799												
AF	0,563	0,529											
MTD	0,714	0,760	0,061										
DBL	0,690	0,079	0,593	0,545									
D-EC	0,650	0,926	0,199	0,796	0,636								
D-POL	0,149	0,377	0,831	0,602	0,851	0,002							
CP	0,842	0,072	0,043	0,488	0,437	0,658	0,210						
IP	0,073	0,582	0,101	0,109	0,828	0,704	0,800	0,398					
RC	0,163	0,417	0,250	0,101	0,204	0,666	0,596	0,971	0,231				
PC	0,599	0,720	0,925	0,498	0,965	<0,0001	<0,0001	0,801	0,934	0,310			
PN	0,159	0,989	0,206	0,918	0,454	<0,0001	<0,0001	0,389	0,624	0,800	<0,0001		
NF	0,962	0,433	0,431	0,176	0,589	0,443	0,588	0,559	0,018	0,473	0,547	0,179	
PN/PT	0,042	0,559	0,015	0,183	0,179	0,307	0,699	0,340	0,183	0,027	0,858	0,009	0,407

ALT: Altura del árbol, DAP: Diámetro a la altura del pecho, AF: Área foliar de una hoja, MTD: Porcentaje de frutas moteadas, DBL: Porcentaje de frutos dobles, D-EC: Diámetro ecuatorial del fruto, D-POL: Diámetro polar del fruto, CP: Color principal de un fruto maduro, IP: Índice de precocidad, RC: Resistencia de la cáscara, PC: Peso de la cáscara, PN: Peso de la nuez, NF: Número de frutos de la muestra del suelo, PN/PT: Relación Peso Nuez/Peso Total del fruto.

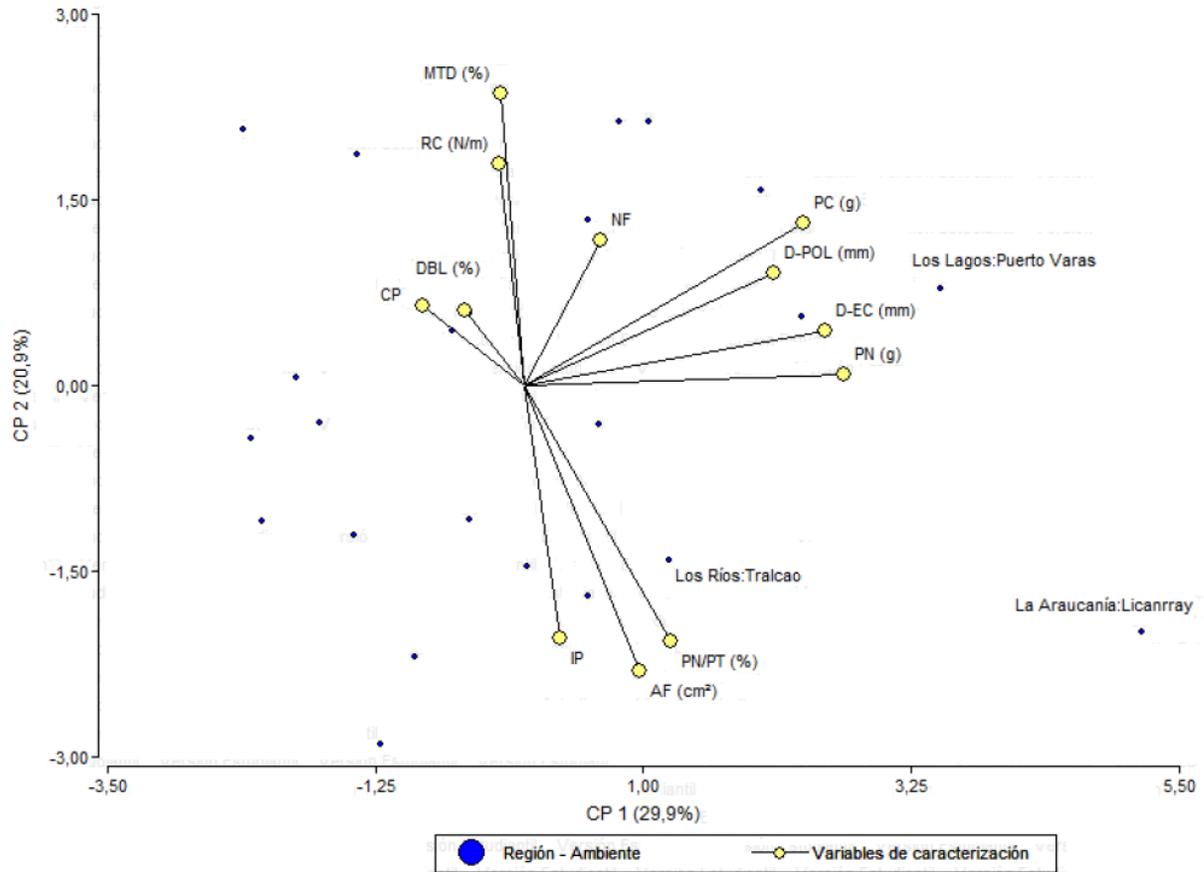


Figura 7. Biplot (ACP) para la clasificación de *Gevuina avellana* Mol. por región. La CP1 y CP2 explicaron más del 50,8% de la variación total. AF: Área foliar de una hoja, MTD: Porcentaje de frutas moteadas, DBL: Porcentaje de frutos dobles, D-EC: Diámetro ecuatorial del fruto, D-POL: Diámetro polar del fruto, CP: Color principal de un fruto maduro, IP: Índice de precocidad, RC: Resistencia de la cáscara, PC: Peso de la cáscara, PN: Peso de la nuez, NF: Número de frutos de la muestra del suelo, PN/PT: Relación Peso Nuez/Peso Total del fruto.

Respecto a IP, este valor mostró una tendencia a ser 2,2% inferior en la región de Los Lagos por sobre las otras dos regiones de estudio (Cuadro 1). El análisis de la matriz de probabilidades de las correlaciones de variables del color del fruto y parámetros de georreferenciación mostraron que no existió ninguna correlación significativa entre la latitud, longitud ni tampoco con la latitud con respecto a IP (Cuadro 3). Se observaron relaciones lineales negativas en CP y en GHCs con respecto a la altitud con $P < 0,05$ para esta última variable (Figura 8). El valor máximo de CP se dio en Mocopulli a 128 m.s.n.m, mientras que el valor mínimo de esta variable se dio en Villarrica a 302 m.s.n.m. El valor máximo de GHCs se dio a 4 m.s.n.m en un ejemplar en el Parque Nacional Chiloé, mientras que su valor mínimo se dio en un ejemplar de Melipeuco a 479 m.s.n.m.

Cuadro 3. Matriz de probabilidades de las correlaciones entre variables asociadas al color y variables de georreferenciación.

Variables	GHCa	GHCs	IP	CP
GHCs	0,2298			
IP	<0,0001	0,0003		
CP	0,3235	0,0003	0,8557	
LAT	0,7738	0,1066	0,4088	0,0835
LON	0,7739	0,0489	0,3594	0,3061
ALT	0,2671	0,0278	0,9550	0,3278

GHC: Grado de heterogeneidad del color; a: Frutos obtenidos desde la sección del árbol; s: Frutos obtenidos desde la sección del suelo; IP: Índice de precocidad; CP: Color principal del fruto maduro; LAT: Latitud; LON: Longitud; ALT: Altitud.

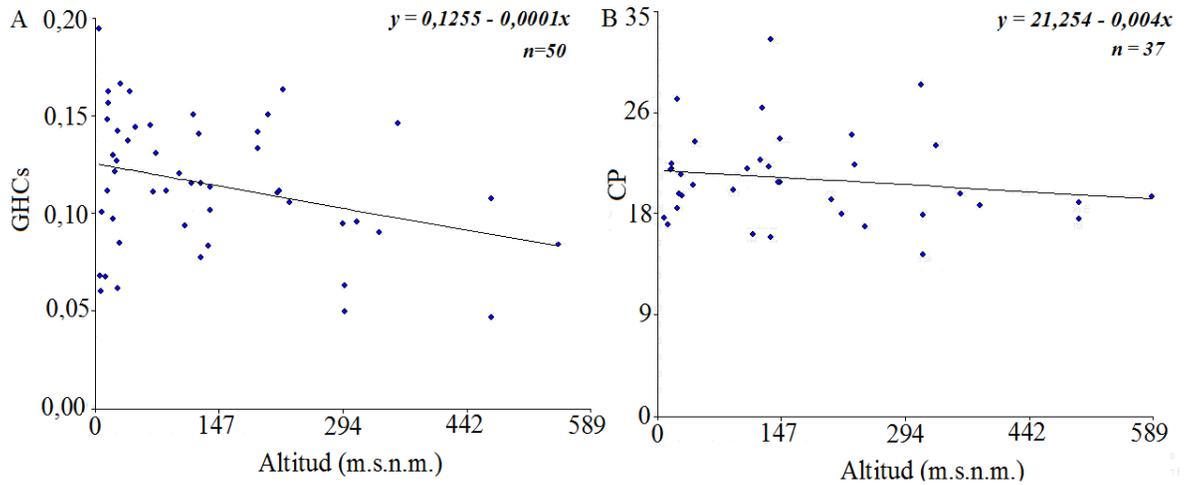


Figura 8. Regresiones lineales entre variables del color del fruto y la altitud. A: Grado de heterogeneidad del color de la muestra de frutos del suelo (GHCs). Es un valor entre 0 y 1, siendo 0 cuando todos los frutos tienen el mismo color y 1 cuando los frutos de la muestra tienen una amplia variación de colores; B: Color principal del fruto maduro (CP). Un valor alto indica mayor cercanía al rojo. Cada punto representa el valor de una muestra por ejemplar de *Gevuina avellana*.

Respecto a la caracterización foliar se observó que existe una gran variabilidad de formas y tamaños de hojas como se aprecia en la Figura 9. Los folíolos resultaron más pequeños a medida que se avanza geográficamente hacia el sur. Se observó una tendencia estadística que mostró que el valor de AF en la región de Los Lagos el cual fue 1,2 veces menor que el promedio de las otras dos regiones (Cuadro 1). Además, la variable PN/PT mostró una correlación positiva con AF con $P < 0,05$ (Cuadro 2) En ejemplares juveniles y en rebrotes se observó que existe un comportamiento fractálico en el crecimiento de las hojas, estas se diferencian de las hojas del último año de crecimiento en un árbol maduro, como se puede visualizar en la Figura 10.

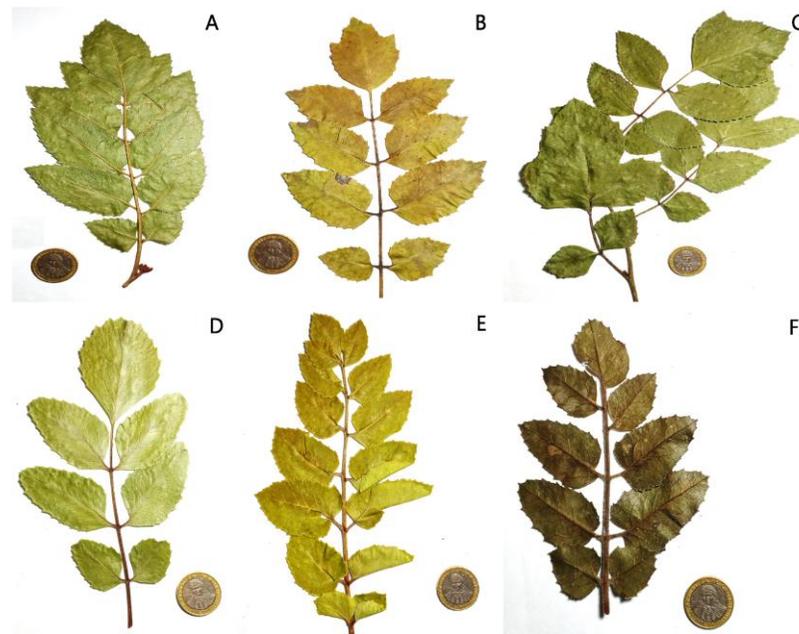


Figura 9. Morfología de las hojas del último año de crecimiento en árboles maduros de *Gevuina avellana* Mol. A: Temuco; B: Caburga; C: Valdivia-UACH; D: Valdivia-Catrico; E: Parque SD; F: Huillenco.



Figura 10. Tipos de hojas de *Gevuina avellana* Mol. y patrones de crecimiento. A: Primeras hojas desde germinación; B, C y D: Patrón de crecimiento fractálico de hojas del rebrote; E: Hoja de un árbol inmaduro; F: Hoja de crecimiento del último año de un árbol maduro.

5. Caracterización del avellano chileno por grado de urbanización

Se observaron diferencias entre los valores de cada una de las variables de caracterización en función del grado de urbanización en la que estaba ubicado cada ejemplar, estos valores se pueden ver en el Cuadro 4. El 39% de los datos correspondieron a ejemplares “nativos”. Existió una diferencia clara en la altura de los árboles, los ejemplares “nativos” muestreados fueron en promedio 1,7 veces más altos que los “urbanizados”, esta diferencia se dio con un valor $P < 0,0001$. Se observó también que los ejemplares “urbanizados” tuvieron una tendencia a tener un valor de DAP un 11% superior. Con respecto a la morfología de las hojas, existió una tendencia entre los valores de AF, siendo la superficie de las hojas de ejemplares “nativos” un 9% más grandes (Cuadro 4).

Cuadro 4. Promedio de las variables de caracterización de *Gevuina avellana* Mol. respecto al grado de urbanización.

Variable	Grado de urbanización			
	Nativo		Urbanizado	
	Media	E.E.	Media	E.E.
ALT (m)	15,10 a	1,12	8,68 b	1,03
DAP (cm)	24,83 a	2,09	27,64 a	1,93
AF (cm ²)	122,26 a	11,85	111,69 a	11,37
MTD (%)	21,16 a	0,04	20,33 a	0,03
DBL (%)	0,32 a	0,00	0,54 a	0,00
D-EC (mm)	14,33 a	0,07	14,45 a	0,04
D-POL (mm)	18,87 a	0,11	18,40 b	0,07
CP	21,48 a	0,93	19,72 a	0,86
IP	0,93 a	0,01	0,92 a	0,01
RC (Nm ⁻¹)	1,08 a	0,02	1,06 a	0,01
PC (g)	0,72 a	0,01	0,71 a	0,01
PN (g)	0,40 a	0,00	0,37 b	0,00
NF	63,04 a	9,13	93,96 b	8,42
PN/PT (%)	35,22 a	0,00	34,67 a	0,00

ALT: Altura del árbol (m), DAP: Diámetro a la altura del pecho (cm), AF: Área foliar de una hoja (cm²), MTD: Porcentaje de frutas moteadas (%), DBL: Porcentaje de frutos dobles (%), D-EC: Diámetro ecuatorial del fruto (mm), D-POL: Diámetro polar del fruto (mm), CP: Color principal de un fruto maduro, IP: Índice de precocidad, RC: Resistencia de la cáscara (Nm⁻¹), PC: Peso de la cáscara (g), PN: Peso de la nuez (g), NF: Número de frutos de la muestra del suelo, PN/PT: Relación Peso Nuez/Peso Total del fruto (%). Se realizó la prueba LSD Fisher. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($P > 0,05$).

Con relación a la morfología de los frutos, se observó que las avellanas de ejemplares “nativos” presentaron un patrón de crecimiento un 3% superior en el plano polar del fruto con $P < 0,0001$. Además, el valor de CP también marcó una tendencia en este grupo, ya que su valor fue un 9% más cercano al rojo que en los ejemplares “urbanizados”. Los histogramas de la Figura 11 muestran un ejemplo de la distribución del color de uno de los frutos de un ejemplar “nativo” contrastado con un fruto de un ejemplar “urbanizado”.

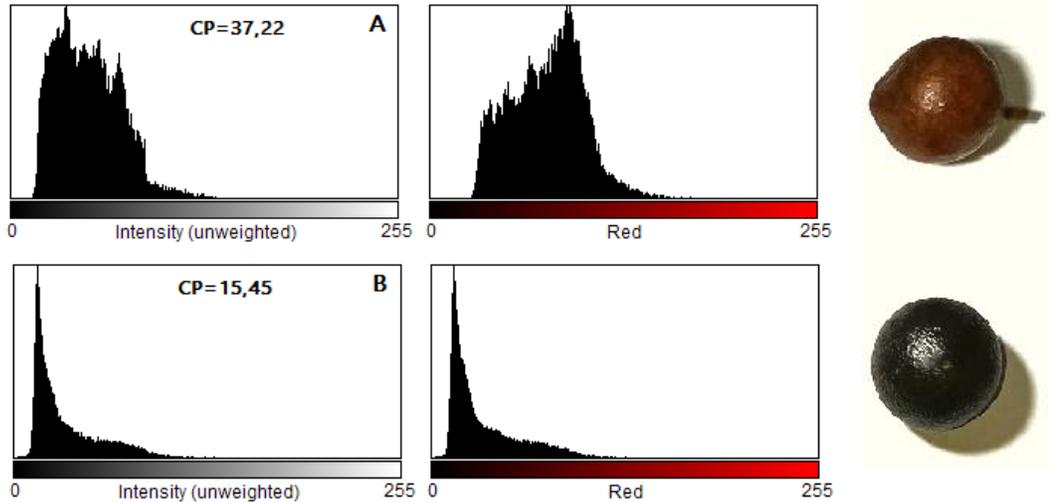


Figura 11. Histogramas de la distribución del color principal de un fruto maduro. En cada fila se encuentran de izquierda a derecha, la distribución en la escala de grises, la distribución en la escala de rojos y una imagen del fruto del cual se desprenden estos datos de color respectivamente. A: Ejemplar “nativo” del Centro de investigación Senda de Darwin (SD). B: Ejemplar “urbanizado” del Campus de la Universidad de la Frontera. CP: Color principal de un fruto maduro.

Los resultados relacionados al valor de IP mostraron una tendencia entre ambos grupos, siendo los ejemplares “nativos” un 1% más precoces. El valor de NF fue un 49% superior en el grupo de ejemplares “urbanizados”, con $P < 0,0001$. Además, se presentó una correlación negativa entre IP y NF como se puede observar en el gráfico ACP de la Figura 12, ya que se observó un ángulo de 180° entre los vectores que representa cada variable. Esta correlación tuvo un valor $P < 0,01$ como se puede observar en el Cuadro 5. Se observaron diferencias entre la arquitectura del dosel y el número de frutos en el árbol entre los ejemplares “nativos” y “urbanizados”, como se aprecia en la Figura 13.

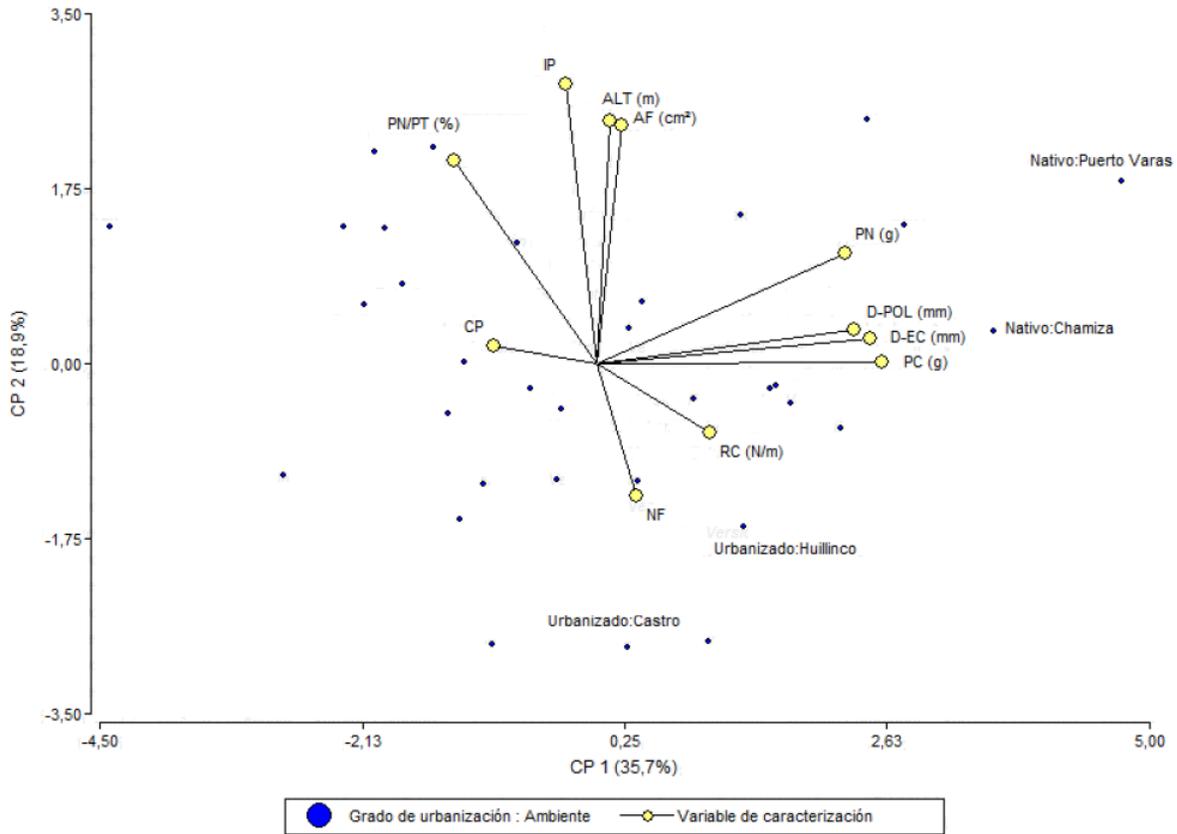


Figura 12. Biplot (ACP) para la clasificación de *Gevuina avellana* Mol. por grado de urbanización. La CP1 y CP2 explicaron más del 54,6% de la variación total. ALT: Altura del árbol, AF: Área foliar de una hoja, CP: Color principal de un fruto maduro, D-EC: Diámetro ecuatorial del fruto, D-POL: Diámetro polar del fruto, PC: Peso de la cáscara, PN: Peso de la nuez, PN/PT: Relación Peso Nuez/Peso Total del fruto, IP: Índice de precocidad, RC: Resistencia de la cáscara, NF: Número de frutos de la muestra del suelo.



Figura 13. Diferencias entre grado de urbanización de *Gevuina avellana* Mol. Se observa la arquitectura del dosel, la cantidad de flores y frutos y el nivel de competencia asociado a un ejemplar por categoría de grado de urbanización. A: Urbanizado-Huillinco; B: Nativo-Chamiza.

Se observaron correlaciones positivas entre D-EC y D-POL y variables asociadas al rendimiento y calidad de la nuez como PN y PC, con $P < 0,0001$ (Cuadro 5). El valor promedio de PN presentó una diferencia significativa al ser un 8% superior en los ejemplares “nativos”, con $P < 0,001$, como se puede observar en el Cuadro 4. En un ejemplar “nativo” en Puerto Varas, se registró el valor promedio máximo de PC con 1,07 g. En este mismo ejemplar se registró también el mejor valor promedio para PN con 0,58 g y el valor promedio máximo de D-POL con 23,7 mm.

Cuadro 5. Matriz de probabilidades de las correlaciones respecto al grado de urbanización.

Variables	ALT	DAP	AF	MTD	DBL	D-EC	D-POL	CP	IP	RC	PC	PN	NF
ALT													
DAP	0,611												
AF	0,168	0,869											
MTD	0,791	0,946	0,256										
DBL	0,687	0,069	0,477	0,513									
D-EC	0,924	0,567	0,454	0,917	0,766								
D-POL	0,241	0,122	0,640	0,705	0,890	<0,0001							
CP	0,753	0,075	0,211	0,754	0,683	0,226	0,136						
IP	0,045	0,574	0,054	0,017	0,628	0,876	0,615	0,613					
RC	0,571	0,047	0,409	0,872	0,273	0,155	0,210	0,763	0,662				
PC	0,879	0,226	0,867	0,620	0,984	< 0,0001	< 0,0001	0,156	0,816	0,016			
PN	0,273	0,596	0,274	0,941	0,410	< 0,0001	< 0,0001	0,261	0,709	0,274	< 0,0001		
NF	0,716	0,645	0,510	0,007	0,444	0,466	0,640	0,418	0,002	0,073	0,690	0,311	
PN/PT	0,088	0,259	0,137	0,316	0,167	0,023	0,023	0,192	0,106	0,053	0,002	0,986	0,977

ALT: Altura del árbol, DAP: Diámetro a la altura del pecho, AF: Área foliar de una hoja, DBL: Porcentaje de frutos dobles, MTD: Porcentaje de frutas moteadas, CP: Color principal de un fruto maduro, D-EC: Diámetro ecuatorial del fruto, D-POL: Diámetro polar del fruto, PC: Peso de la cáscara, PN: Peso de la nuez, PN/PT: Relación Peso Nuez/Peso Total del fruto, IP: Índice de precocidad, RC: Resistencia de la cáscara, NF: Número de frutos de la muestra del suelo.

Respecto a la RC los valores promedio entre ambos grupos no presentaron diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, se observó que existió una correlación positiva ($P < 0,05$) entre esta variable y PC (Cuadro 5). El valor mínimo promedio RC se dio en un ejemplar “urbanizado” en Niebla con $0,65 \text{ Nm}^{-1}$, en este ejemplar también se dio el valor promedio de PC más bajo de la región de Los Ríos con 0,54 g.

DISCUSIÓN

El trabajo desarrollado y los resultados obtenidos en la elaboración de la estructura de ciencia ciudadana necesaria para este proyecto, nos muestra que existe un potencial para utilizar herramientas digitales de fácil acceso, como un teléfono inteligente y el uso de las plataformas como la red “iNaturalist” o “Geocaching” en fitomejoramiento. Este trabajo se muestra como un ejemplo en donde se explora la posibilidad de conectar las funciones de estas dos herramientas para dirigir las a la generación de conocimiento científico.

Esta investigación destacó la efectividad de la metodología de proyectos en "iNaturalist" para construir bases de datos de flora nativa. En el caso del avellano chileno, se logró con éxito la creación de una base de datos a partir de las observaciones georreferenciadas realizadas por más de 262 usuarios en esta aplicación. Esta logística se desarrolla sin requerir estrategias de difusión previa para atraer nuevos observadores. La aplicación, por defecto, recopila y relaciona todas las observaciones de una especie desde sus inicios, vinculándolas a una base de datos definida por el creador del proyecto. Los datos que se solicitan por defecto al usuario en cada observación registrada en la plataforma y la inspección visual aportada por las fotografías, permiten al autor del proyecto aplicar un criterio de selección de plantas con características deseables para sus objetivos, sin la necesidad de implementar estrategias de difusión. Esto convierte a la plataforma en una herramienta valiosa para identificar ejemplares que puedan contribuir a proyectos de pre-fitomejoramiento en diversas especies. Dependiendo del objetivo del proyecto, esta herramienta también ha demostrado en otras investigaciones su capacidad para involucrar a los usuarios en el fenotipo y obtener información adicional a la proporcionada por defecto por el observador. Esto se logra a través de la ejecución de protocolos diseñados para la participación ciudadana (Iwanycki *et al.*, 2022; Killen *et al.*, 2022). Esta participación de los usuarios, cuando se construyen inicialmente estas bases de datos, se efectúa de manera indirecta, con sus observaciones siendo automáticamente asignadas a los proyectos. Esta asignación ocurre sin requerir que los usuarios sean conscientes de que su observación ha contribuido a la identificación de un ejemplar idóneo para un proyecto de ciencia ciudadana específico, tal como se experimentó en esta investigación. La motivación de este grupo de usuarios habituales de la aplicación se origina en un interés más amplio por la contribución al conocimiento, la conexión con la naturaleza, el aprendizaje, la integración en comunidades y el compromiso con la conservación y la conciencia ambiental. Esto indica que no necesariamente precisan de un enfoque basado en juego para participar en la ciencia ciudadana

A partir de la experiencia del desarrollo del juego se observó que en general existe una buena disposición de las personas a participar de ellos cuando se incluyen mecanismos que incorporan georreferenciación como una forma didáctica de aprendizaje, y esta experiencia hizo un intento por abordar esta motivación como una estrategia para la elaboración de datos útiles para proyectos de ciencia ciudadana mediante la ejecución de protocolos orientados al fenotipo del avellano chileno. Esta disposición y el potencial de la herramienta, se evaluó en un segmento de posibles usuarios distinto a los de “iNaturalist”. Se evidenció en los resultados de la encuesta realizada a un público general y que vive en una zona esencialmente urbana (Santiago), que existe una notable popularidad de “Pokémon Go”, una aplicación con una lógica de juego bastante similar a “Geocaching” que también se ha estudiado que tiene

gran potencial para desarrollar la ciencia ciudadana (Smith, 2016). Esto nos muestra que hay una tendencia en la que las tecnologías del entretenimiento digital están ayudando a reintroducir las prácticas lúdicas en los espacios públicos, y en esta línea, hay también un desafío para aprovechar esta tendencia en la divulgación de contenido con alto valor educativo y cultural para todas las edades (Lahoz Palacio, 2017). La estrategia de difusión del proyecto a través de la red “Geocaching”, también ha sido eficaz conectando con personas que probablemente no tenían alguna cercanía previa con el avellano chileno, sirviendo como herramienta de educación sobre la importancia en su conservación y sobre el valor cultural que tiene esta especie para el país, ya que, para encontrar el tesoro, era necesario hacer un reconocimiento del árbol y leer la historia asociada a cada lugar. Saber identificar la especie es el primer paso para luego poder ejecutar los protocolos de participación ciudadana, por esto, se puede decir que también existió un grado de efectividad en esta última estrategia, ya que, en 10 meses de estar activos y disponibles para los usuarios de la plataforma, se han encontrado 16 de los 25 “geocaches”.

Esta investigación tuvo un problema importante al momento de hacer que los interesados pudieran completar los protocolos de participación. La totalidad de los datos necesarios para la caracterización del avellano chileno aquí obtenidos fueron recolectados mediante la propia ejecución de los protocolos, es decir, por medio de una simulación de ellos por parte del autor del proyecto, y no por medio de las estrategias de difusión utilizadas. Si bien la encuesta realizada mostró que el público sí estaría dispuesto a realizar estas actividades, faltó mayor trabajo en desarrollar el nexo para que las personas pudieran conocer y motivarse a concretar los protocolos. Esto puede explicarse por la falta de aplicación de otras estrategias de difusión, como charlas de divulgación del proyecto, o la falta de mayor énfasis en el diseño gráfico de las plataformas digitales utilizadas. El artículo de West y Pateman (2016), señala que, si no se logra captar el interés de la comunidad mediante comunicación efectiva o no se promueve adecuadamente la participación, el proyecto de ciencia ciudadana puede carecer de colaboradores, lo que limita la recopilación de datos para la investigación.

El proyecto se ha implementado con una estructura que le permite monitorear la especie en un amplio rango geográfico y por un periodo de tiempo indeterminado, para poder identificar ejemplares que tienen aptitudes agronómicas en el contexto de un programa de fitomejoramiento. Sin embargo, para que se desarrolle correctamente, existe un costo asociado a la mantención y administración de la red que permite gestionar eventuales posibles preguntas y otros aspectos técnicos que probablemente surjan en los interesados que se encuentren con el proyecto. Las plataformas utilizadas como herramientas digitales de ciencia ciudadana en esta investigación son sólidas para estos objetivos, pero no dejan de depender de factores que podrían llegar a dismantelar la información aquí almacenada, como la posibilidad de desastres naturales, decisiones gubernamentales, problemas técnicos, cambios en las políticas de las empresas o conflictos legales. Estos son detalles que considerar para mejorar aspectos de la autosuficiencia en esta clase de proyectos.

Los protocolos de ciencia ciudadana con los cuales se obtuvo la información para la caracterización del avellano fueron desde el inicio, constantemente puestos a prueba y son el resultado de una serie de eventos de ensayo y error, pero que, en suma, expresan su alto grado de replicabilidad directamente en la calidad de los datos recolectados con ellos. Los protocolos fueron desarrollados con el fin de sacar la mayor cantidad de información posible

a partir de una muestra simple y sin implicar mayor esfuerzo para el participante. Aun así quedó demostrado que existe un límite en donde la motivación del jugador se termina, debido a la complejización que implica la interacción con el mundo real generada en este tipo de juegos. Cuando los proyectos de esta categoría entiendan mejor este límite, se abre la puerta para un universo importante de materias del conocimiento que podrían expandirse utilizando herramientas digitales de ciencia ciudadana.

En esta investigación se recopilaron 50 muestras, de las cuales se obtuvieron 4076 frutos que fueron medidos mediante métodos no destructivos y 954 frutos que fueron medidos utilizando métodos destructivos, esto muestra que existió una base estadística robusta con una alta cantidad de frutos efectivamente medidos. A pesar de ello hubo muestras que tuvieron poca representatividad por falta de frutos. Los resultados obtenidos a partir de esta caracterización abren las puertas a una serie de interpretaciones que se generan en la interacción entre las variables de morfología de la hoja y el fruto, índice de precocidad, propiedades mecánicas de la resistencia de la cáscara, rendimiento y calidad de la nuez, y las categorías de clasificación utilizadas, como las regiones de estudio y el grado de urbanización.

Sobre el grado de urbanización se observó que algunos aspectos de rendimiento del avellano chileno son particularmente sensibles a la competencia por luz, situación que se da mayoritariamente en los árboles del bosque nativo. En este sentido, los resultados en el análisis mostraron diferencias significativas en NF lo que sugiere que existe un efecto positivo en el rendimiento en ejemplares “urbanizados”. Se observó también en varios de los ejemplares asociados a estos ambientes, que fueron sometidos a prácticas de poda, proporcionada probablemente por un manejo de arbolado urbano por parte de las municipalidades, que implicó que estos árboles tuvieran una forma similar a un árbol frutal inmerso en un sistema de cultivo. Esto también es un argumento del porque pudo haberse observado un mayor valor de NF en este tipo de ejemplares, y un ejemplo de cómo el avellano chileno responde a prácticas agronómicas de la fruticultura convencional. Por otro lado, los ejemplares “nativos” crecen en condiciones que los llevan a producir una cantidad considerablemente menor de fruta, pero esto no implicó que tuvieran un menor rendimiento por fruto. La posibilidad de explorar en altura de estos ejemplares los lleva a producir sus pocos frutos exclusivamente en estas zonas del árbol en donde alcanzan la luz, concentrando en un espacio reducido, pero eficiente, todos los recursos nutricionales que es capaz de extraer desde el suelo disponible en el bosque nativo. Especialmente en los ejemplares “nativos” se dieron algunos aspectos deseables para un sistema de cultivo, como por ejemplo un mayor peso de la nuez ($P < 0,001$), una tendencia a presentar una mejor relación PN/PT y un mayor D-POL, el cual también estuvo fuertemente correlacionado con el peso de la nuez.

Los valores asociados a aspectos de rendimientos y morfología del fruto de esta caracterización se pueden comparar con los obtenidos por Álvarez (2020), en donde en un bosque mixto de roble-rauli-avellano-lingue en la región de Ñuble, se alcanzaron valores promedio de PN/PT de 34,5%, D-EC fue de 18 mm y PN alcanzó 0,58 g. En esta población también se observó un valor de correlación positivo significativo entre D-EC y PN. En otra caracterización de rendimiento del fruto realizada por Medel (2000) a partir de clones seleccionados entre las regiones de La Araucanía y Los Lagos, PN/PT estuvo entre 33-46%, D-EC tuvo un valor de 15,6-17,5 mm y PN estuvo en un rango entre 0,64 y 1g. Con respecto

a los resultados sobre el peso de la nuez por región, se ha estudiado que la masa de las semillas puede disminuir significativamente con el aumento de la altitud (Wang y Wang, 2014). El promedio de la altitud de los ejemplares muestreados en la región de La Araucanía fue mayor al resto de las regiones de estudio ($P < 0,0001$), por esto, lo anterior es un argumento que podría estar explicando los resultados de un valor de PN significativamente menor en esa región. Además, podría estar existiendo un efecto genético, como sucede en Macadamia, tomando como referencia un estudio en donde también se observaron diferencias significativas en el peso de la nuez entre distintas especies representantes de ese género (Mai *et al.*, 2021)

El valor bajo de NF en ejemplares “nativos” puede estar evidenciando un efecto en la precocidad de estos, ya que se observó una tendencia de un valor promedio de IP más alto en este tipo de árboles. Desde los resultados también se pudo observar una correlación negativa significativa entre estas dos variables. Si bien los árboles de avellano chileno poseen flores hermafroditas, estas tienen un alto grado de autoincompatibilidad que las hace depender de la polinización entomófila y de otros ejemplares que presenten compatibilidad (Álvarez y García, 2019), por esto, la disponibilidad de otros avellanos en la cercanía podría aumentar la polinización, facilitando enormemente la fructificación temprana. Los ejemplares “nativos” suelen crecer con otros avellanos en la cercanía, y a pesar de tener menos frutos, tienen mayor probabilidad de desarrollarse más rápida y efectivamente, por el contrario, en ejemplares “urbanizados” es más probable que falten ejemplares compatibles en la cercanía o también que se presente una menor diversidad y abundancia de insectos polinizadores, lo que podría ser un camino para explicar los resultados de la caracterización en esta variable.

El modelo de la variable IP propuesto, excluye y simplifica algunos factores importantes para predecir la maduración del fruto, como la fecha de floración o la temperatura. Para el cálculo, se le dio mayor ponderación al grado de heterogeneidad del color y menor ponderación a la relación de número de frutos en el árbol y en el suelo, ya que, para la operatividad del modelo lineal planteado, se trabajó en base a la suposición de que esta última, es una variable menos sensible a la precocidad, por ser más susceptible a la influencia de factores bióticos, como la presencia de enfermedades o plagas, como los roedores o aves que desprenden y consumen la fruta, y por factores abióticos, como condiciones climáticas, por ejemplo, presencia de vientos fuertes, que en suma son factores que alteran el número de frutos. Todos ellos también podrían estar generando cambios en la precisión de la estimación de IP. Era esperable que un mayor valor de IP se diera en ambientes más al norte y cercanos al mar, debido a que suelen experimentar temperaturas más cálidas a lo largo del año, acelerando los procesos de desarrollo de las plantas, incluida la floración y fructificación. Esto muestra concordancia con la tendencia que se dio en los resultados al presentarse un menor valor de la precocidad en la región de Los Lagos respecto a las otras dos regiones, por ser la superficie de estudio ubicada más al sur de Chile y con menores temperaturas. En esta caracterización también se identificaron valores promedios asociados a un valor mayor de IP en altitudes menores, como en la región de Los Ríos y valores más bajos en localidades más cercanas a la cordillera, como en Melipeuco en la región de La Araucanía. No obstante, hay que precisar que el modelo lineal para el cálculo de IP no es recomendable utilizarlo para hacer predicciones en función de las variables asociadas a la georreferenciación, ya que se vio que no se dio ninguna relación estadística significativa con ellas (Cuadro 3), es decir, con este modelo no se

podieron establecer conclusiones que representen fielmente las variaciones en el estado de madurez del fruto utilizando la latitud, longitud o altitud.

Hay que tener cuidado con la interpretación respecto al valor de CP y su correlación negativa con la altitud, ya que en la bibliografía se muestra al color marrón oscuro como el color óptimo de madurez (Álvarez *et al.*, 2020; Valenzuela-Risco, 2018; Loewe-Muñoz 1997). Sin embargo, en la familia *Proteaceae* existe gran variabilidad en el color óptimo de madurez fisiológica del fruto. En el caso de la *Macadamia*, por ejemplo, al momento de la cosecha, es posible encontrar variedades color marrón, negro, rojo, morado, verde o bronce en el exocarpio (Mast y Willis, 2008). Por esto, los resultados de esta investigación muestran que existe una diversidad genética que implicaría que no necesariamente un color marrón oscuro es el único que indicaría un grado de madurez óptimo en el fruto del avellano chileno, y este color de madurez se mueve más bien en un rango de marrones, que tienen un valor más cercano al rojo a menor altitud (Figura 8.B). La estimación de un color de madurez óptimo del fruto es compleja, ya que además no está clara la relación que existe entre CP con la influencia de la acción de microorganismos descomponedores de la materia orgánica en el suelo, o con el efecto de los cambios de la pigmentación del exocarpio producto del comienzo de la fase de germinación. Otro aspecto importante de CP en aspectos comerciales, es la congruencia del color del exocarpio con el estado de madurez al interior de la nuez, el cual estaría relacionado más bien con un contenido lipídico óptimo que con un color característico. Estudios realizados para determinar el perfil de fitoesteroles de la nuez en estado de madurez en *Macadamia*, han encontrado que depende del contenido de ácido palmítico que puede variar entre un 6-13 % (Hu y Fitzgerald, 2022).

Por otro lado, las poblaciones que crecen en altitudes más elevadas podrían tener características que contribuyen a una mayor estabilidad en el color de los frutos (Figura 8.A). Una posibilidad que podría estar explicando este resultado, es que, a mayores altitudes, la incidencia de ciertas plagas y enfermedades es menor, lo que podría permitir un desarrollo más uniforme de los frutos y de la coloración de la muestra. Las bajas temperaturas que se dan a mayores altitudes implican un menor número de interacciones biológicas respecto a altitudes cercanas al nivel del mar (Patterson y Meserve, 1989; Lopatin y Dolos, 2016). El valor de GHCs evaluado en esta caracterización podría incluir aquellos frutos que cayeron del árbol debido a la interacción con aves o roedores que se alimentan de sus frutos, es decir, en esta situación existe una mayor probabilidad de que frutos en estados inmaduros de distinta coloración, también caigan al suelo, aumentando este valor.

Una función biológica de los pigmentos antocianos está relacionada con la atracción visual de animales para lograr la dispersión de semillas, llevando a una mayor concentración de estos pigmentos en los frutos (Valenzuela-Risco, 2018; Lei y Newman, 2021). En el caso de los ejemplares “nativos”, se observó una baja producción de frutos, en línea con las razones mencionadas previamente. Esta situación sugiere que los árboles deben adaptar su estrategia para aumentar sus posibilidades de dispersión. Esta adaptación podría explicar la tendencia observada en CP. Específicamente, los frutos de ejemplares “nativos” presentaron una coloración más pronunciada al rojo en su estado de madurez óptimo.

Con respecto a DBL, sólo se observó esta condición en ejemplares de la isla de Chiloé. Aquí el efecto asociado a la geografía de isla, una superficie extensa rodeada por mar, genera una

condición de viento de mayor frecuencia e intensidad, diferenciándose del resto de la superficie continental del estudio (Pesce y Moreno, 2014; Cornejo y De La Torre, 2015). Esto puede ser un factor que contribuye al desarrollo de características adaptativas de polinización únicas (Smith-Ramirez, 1994). Una posibilidad es que los frutos dobles se generan cuando una de las flores de la inflorescencia no aborta de forma natural. El viento en la isla, podría estar evidenciando una condición particular de polinización anemófila en el avellano chileno, aumentando así la posibilidad de polinización cruzada, el porcentaje de cuaja y con ello el desarrollo de frutos dobles. Se ha estudiado en poblaciones de avellano chileno de la región del Maule que los porcentajes de cuaja pueden variar en un rango entre 1,6-4,7 % considerando la cantidad de frutos que maduraron por cada 100 flores formadas (Doll y San Martín, 2005). También se han estudiado en la isla de Chiloé los factores que influyen en la polinización anemófila en *Embothrium coccineum* especie que también pertenece a la familia *Proteaceae* (Rovere y Premoli, 2005). Con respecto a la diferencia estadística asociada a un mayor valor de MTD en la región de Los Lagos sobre las demás regiones ($P < 0,0001$), los resultados de frutos que presentaron esta condición se dieron en gran parte a partir de las muestras obtenidas desde la isla de Chiloé. Esto indica sobre la posibilidad de que existan ecotipos de avellano chileno con características de pigmentación irregular de la cáscara del fruto, como también, sobre la posibilidad que la condición de viento y aislamiento geográfico pueda estar favoreciendo la diseminación de una enfermedad que afecte al avellano chileno, que podría estar causando estas anomalías en la pigmentación del exocarpio. Hay evidencias sobre una fitopatología causada por el microorganismo *Pseudocercospora macadamiaede*, el cual es de origen fúngico y afecta a la *Macadamia* generando una sintomatología similar a lo observado en esta caracterización (Miles y Akinsanmi, 2009).

Sobre la morfología foliar, los datos del estudio mostraron una tendencia estadística en el análisis por región, encontrando hojas de mayor tamaño ubicadas más al norte de la distribución geográfica de la especie, y una correlación positiva significativa entre AF y PN/PT. Esto podría ser de importancia para el fitomejoramiento al proporcionar información sobre cómo las características de las hojas pueden influir en la producción y calidad de los frutos y de esta forma guiar prácticas de manejo asociadas al control de la relación hoja/fruta en diferentes regiones geográficas (Zhang y Chen, 2022). También en el análisis por grado de urbanización se dio una tendencia en el promedio de AF, siendo más grandes las hojas de ejemplares “nativos”. La variedad en la forma y superficie de las hojas es un aspecto interesante de estudiar, ya que el avellano parece tener una gran capacidad de adaptación en la morfología foliar ante distintas condiciones ambientales y fenológicas (Ostria-Gallardo, 2015).

Las propiedades mecánicas de resistencia de la cáscara mostraron diferencias significativas al analizar los valores por región. Se observó que el punto de ruptura de la cáscara fue significativamente menor en la región de Los Ríos. El clima que presenta esta región se caracteriza por ser templado oceánico, con características relativamente homogéneas, ausencia de período seco y una alta frecuencia de precipitaciones (BCN, 2005; González-Reyes, 2013). Los árboles del avellano chileno pueden no requerir de una cáscara tan dura para protegerse de la deshidratación en esta zona geográfica, ya que una mayor resistencia de la cáscara es una adaptación que ayuda a retener la humedad dentro del fruto y así protegerlo de la evaporación excesiva durante períodos secos (Bewley y Bradford, 2012). En

un clima con disponibilidad constante de agua, los frutos pueden no estar expuestos a un alto riesgo de deshidratación, lo que podría resultar en una cáscara de menor resistencia a una fuerza de corte. Esta condición podría estar generando un ecotipo de adaptación específica del avellano chileno en esta región. Desde el análisis de la RC del avellano con respecto al grado de urbanización, se observó que existió una correlación positiva fuerte de esta variable con PC y una correlación negativa significativa entre la PN/PT y PC. Una posible explicación para esto es que una cáscara más pesada suele indicar que es más gruesa y densa, lo que proporciona una mayor resistencia física, así puede proteger mejor el interior de la semilla contra daños mecánicos, depredadores y condiciones ambientales adversas (Bewley y Bradford, 2012; Antreich y Xiao, 2019). Se vio que los ejemplares “urbanizados” estuvieron bajo una mayor presión de producción debido a las condiciones favorables para la fructificación, lo que resultó en un menor peso individual de la nuez al interior del fruto ($P < 0,001$). Como resultado, el árbol parece ajustar su estrategia de inversión de recursos para mantener la protección adecuada de las nueces, lo que se reflejó en un mayor peso de la cáscara. Sin embargo, es importante para investigaciones posteriores que validen esta hipótesis, considerar tamaños equivalentes o medidas normalizadas al analizar las correlaciones, para evitar interpretaciones incorrectas basadas en diferencias naturales en tamaño entre las muestras. La resistencia de la cáscara puede afectar la calidad del producto, la eficiencia del proceso, los costos de producción, manejo del residuo y el rendimiento final en la industria de las nueces. Es importante considerar esta variable al desarrollar técnicas de procesamiento, seleccionar equipos adecuados y optimizar la productividad en el negocio de las nueces.

La eficiencia de los programas de fitomejoramiento podría aumentarse al realizar menos cruces entre padres seleccionados de manera más cuidadosa. Por esta razón, es necesario trabajar en nuevas metodologías que aporten precisión y velocidad, permitiendo así la identificación y desarrollo más rápido de genotipos superiores con características deseables (Witcombe y Gyawali, 2013). Las herramientas digitales de ciencia ciudadana utilizadas en este estudio han estructurado una metodología que puede proyectarse para localizar individuos superiores mediante el fenotipo de individuos distribuidos en una amplia superficie geográfica. Posteriormente, se tendrían más y mejores alternativas, reduciendo así los errores en la selección de posibles padres para un programa de fitomejoramiento. Esta metodología se ajusta perfectamente a la localización de ejemplares de especies nativas con potencial para el desarrollo agronómico. Por lo tanto, es pertinente seguir profundizando en las variables estudiadas mediante la metodología propuesta en esta investigación, ya que está orientada a la generación de valor agregado para aquellos que desarrollan sus actividades económicas en los productos que crecen en el territorio y que tienen una amplia tradición cultural, como es el caso del avellano chileno.

CONCLUSIONES

Esta investigación explora el potencial de las herramientas digitales de ciencia ciudadana en la caracterización fenotípica del avellano chileno. Si bien "iNaturalist" demuestra ser una herramienta valiosa para la georreferenciación de ejemplares de interés para el proyecto y "Geocaching" resulta eficiente en la difusión y el reconocimiento cultural de la especie, la falta de un vínculo sólido con los participantes constituye un obstáculo para la efectividad de los protocolos de caracterización fenotípica. No obstante, los resultados obtenidos, particularmente en términos de rendimiento del fruto, añaden una dimensión significativa a estas conclusiones, por ejemplo, al identificar la relación del peso de la nuez con el peso total del fruto, la cual fluctúa entre un 34,62% y un 35,55% en la superficie de estudio, o al encontrar diferencias al comparar el valor promedio del peso de la nuez, siendo la región de La Araucanía un 12,85% menor que las regiones de Los Ríos y Los Lagos en esta variable. Estos hallazgos indican variaciones notables en la diversidad genética del avellano chileno y refuerzan la importancia de las herramientas de ciencia ciudadana en la generación de datos valiosos para la caracterización eficiente de esta especie. Estas herramientas permiten establecer estructuras digitales fuertes que se acercan a modelos confiables para utilizar en futuros proyectos de pre-fitomejoramiento y proporcionan una mejor comprensión de un ideotipo cultivable en base a las características fenotípicas del avellano chileno. La simulación de la ejecución de los protocolos permite una caracterización eficiente en las regiones estudiadas y la distinción entre ejemplares "nativos" y "urbanizados". Estos resultados señalan la necesidad de investigaciones adicionales para mejorar la precisión de los modelos, entender la dinámica temporal de la estructura del proyecto y la replicabilidad de los protocolos, además de comprender mejor la motivación de los participantes.

LITERATURA CITADA

Álvarez-Contreras, A., Valdebenito-Rebolledo, G. A., Aguilera-Fernández, M., García-Rivas, E., García-Ortega, M., Larraín-Larraín, O. E., & Hormazábal, D. 2020. Evaluación morfológica de frutos de Avellano chileno (*Gevuina avellana* L.) en respuesta a intervenciones silvícolas con fines no madereros (PFNM) en un bosque secundario mixto de Raulí–Roble–Lingue–Avellano. Instituto Forestal de Chile INFOR.

Álvarez-Contreras, A., García-Ortega, M., Aguilera-Fernández, M., García Rivas, E., Larraín-Larraín, O., Valdebenito-Rebolledo, G., & Hormazábal, D. 2019. Manual de buenas prácticas tradicionales de recolección sustentable de frutos y follajes de Avellano chileno (*Gevuina avellana* Mol.).

Antreich, S. J., Xiao, N., Huss, J. C., Horbelt, N., Eder, M., Weinkamer, R., & Gierlinger, N. 2019. The puzzle of the walnut shell: a novel cell type with interlocked packing. *Advanced Science*, 6(16), 1900644.

Bewley, J. D., Bradford, K., & Hilhorst, H. 2012. *Seeds: physiology of development, germination and dormancy*. Springer Science & Business Media.

Birch, J., Yap, K., & Silcock, P. 2010. Compositional analysis and roasting behavior of gevuina and macadamia nuts. *International journal of food science & technology*, 45(1), 81-86.

BCN. 2005. Biblioteca del Congreso Nacional SIIT. Clima y vegetación Región de los Ríos. bcn.cl Disponible en: <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region14/clima.htm>

Cornejo, S., De La Torre, M., Salas, C. 2015. Modelación hidrodinámica de alta resolución mediante ROMS, en zonas de interés para la mitilicultura dentro del mar interior de Chiloé. Departamento de Geofísica, Universidad de Concepción, Concepción, Chile.

Cortat, L. O., Zanini, N. C., Barbosa, R. F. S., de Souza, A. G., Rosa, D. S., & Mulinari, D. R. 2021. A Sustainable Perspective for Macadamia Nutshell Residues Revalorization by Green Composites Development. *Journal of Polymers and the Environment*, 29(10), 3210–3226. doi:10.1007/s10924-021-02080-y

De la Vega, A. J., & De la Fuente, E. 2003. Elección de genotipos. EH Satorre, RL Benech A., GA Slafer, EB de la Fuente, DJ Miralles, ME Otegui, R. Savin (eds.), *Producción de Cultivos de Granos: Bases Funcionales para su Manejo*. Editorial Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires ISBN, 950-29.

Drury, J. P., Barnes, M., Finneran, A. E., Harris, M., & Grether, G. F. 2019. Continent-scale phenotype mapping using citizen scientists' photographs. *Ecography*, 42(8), 1436-1445.

Donoso Zegers, C., Gallo, L. A., Ipinza Carmona, R., & Premoli, A. C. 2004. Variación intraespecífica en especies arbóreas de los bosques templados de Chile y Argentina. Ed Universitaria.

Doll, U., San Martín, J., Ravanal, C., Cifuentes, S., & Muñoz, M. 2005. Evaluación de la producción potencial de frutos de *Gevuina avellana*, durante una temporada (1999-2000) en el secano costero de la VII Región. *Bosque (Valdivia)*, 26(3), 87-96.

Ebitu, L., Avery, H., Mourad, K. A., & Enyetu, J. 2021. Citizen science for sustainable agriculture—A systematic literature review. *Land use policy*, 103, 105326.

Ernst, P. V. F. 2011. Determinación de polimorfismo e identificación de haplotipos en *Gevuina avellana* y *Embothrium coccineum* (Magnoliopsida: Proteaceae), especies nativas de Chile, utilizando marcadores moleculares en cpDNA. Tesis Licenciatura en Bioquímica. Universidad Austral de Chile.

Franco, D., Núñez, M. J., Pinelo, M., & Sineiro, J. 2006. Applicability of NIR spectroscopy to determine oil and other physicochemical parameters in *Rosa mosqueta* and Chilean hazelnut. *European Food Research and Technology*, 222(3), 443-450.

González-Reyes, Á., & Muñoz, A. A. 2013. Cambios en la precipitación de la ciudad de Valdivia (Chile) durante los últimos 150 años. *Bosque (Valdivia)*, 34(2), 200-213.

Graudal, L., Dawson, I. K., Hale, I., Powell, W., Hendre, P., & Jamnadass, R. 2022. 'Systems approach' plant breeding illustrated by trees. *Trends in Plant Science*, 27(2), 158-165.

Hu, W., Fitzgerald, M., Topp, B., Alam, M., & O'Hare, T. J. 2022. Fatty acid diversity and interrelationships in macadamia nuts. *LWT - Food Science and Technology*, 154, 112839.

Iwanycki Ahlstrand, N., Primack, R. B., & Tøttrup, A. P. 2022. A comparison of herbarium and citizen science phenology datasets for detecting response of flowering time to climate change in Denmark. *International Journal of Biometeorology*, 1-14.

Killen, H, Chang, L, Soul, L and Barclay, R. 2022. Combining Physical and Digital Data Collection for Citizen Science Climate Research. *Citizen Science: Theory and Practice*, 7(1): 10, pp. 1–14. DOI: [https:// doi.org/10.5334/cstp.422](https://doi.org/10.5334/cstp.422).

Lei, B., Cui, J., Newman, C., Buesching, C. D., Xie, Z., Mc Donald, D. W., & Zhou, Y. 2021. Seed dispersers shape the pulp nutrients of fleshy-fruited plants. *Proceedings of the Royal Society B*, 288(1953), 20210817.

Lahoz-Palacio, C. 2017. Trascendiendo el interfaz: la reintroducción del juego en el espacio público mediante las tecnologías digitales.

Loewe-Muñoz, V. F., Klein, F., & Pineda Bravo, G. E. 1997. Avellano chileno. *Gevuina avellana*. Monografía. Instituto Forestal de Chile INFOR.

- Lopatin, J., Dolos, K., Hernández, H. J., Galleguillos, M., & Fassnacht, F. 2016. Comparing generalized linear models and random forest to model vascular plant species richness using LiDAR data in a natural forest in central Chile. *Remote Sensing of Environment*, 173, 200-210.
- Mai, T. T., Hardner, C. M., Alam, M. M., Henry, R. J., & Topp, B. L. 2021. Phenotypic characterisation for growth and nut characteristics revealed the extent of genetic diversity in wild macadamia germplasm. *Agriculture*, 11(7), 680.
- Mast, A. R., Willis, C. L., Jones, E. H., Downs, K. M., & Weston, P. H. 2008. A smaller *Macadamia* from a more vagile tribe: inference of phylogenetic relationships, divergence times, and diaspora evolution in *Macadamia* and relatives (tribe Macadamieae; Proteaceae). *American Journal of Botany*, 95(7), 843-870.
- Medel, F., & Medel, R. 2000. *Gevuina avellana* Mol.: características y mejoramiento genético de un frutal de nuez nativo para el mercado internacional. *Rev. Frutícola*, 21(2), 37-47.
- Mesaglio, T., & Callaghan, C. T. 2021. An overview of the history, current contributions and future outlook of iNaturalist in Australia. *Wildlife Research*, 48(4), 289-303.
- Miles, A. K., Akinsanmi, O. A., Sutherland, P. W., Aitken, E. A. B., & Drenth, A. 2009. Infection, colonisation and sporulation by *Pseudocercospora macadamiae* on macadamia fruit. *Australasian Plant Pathology*, 38, 36-43.
- Muñoz-Saéz, A., Albornoz Gutiérrez, F., & Renwick, L. L. 2019. Agrobiodiversidad nativa ligada a pueblos indígenas y campesinos en Chile. Huertas familiares y comunitarias: cultivando soberanía alimentaria.
- O'Hara, K. 2008. Understanding geocaching practices and motivations. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1177-1186).
- Ostria-Gallardo, E. I. 2015. Heteroblastia en *Gevuina avellana* Mol.(Proteaceae), un árbol del bosque templado lluvioso: variación natural y regulación. Tesis de Doctorado. Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas.
- Patterson, B. D., Meserve, P. L., & Lang, B. K. 1989. Distribution and abundance of small mammals along an elevational transect in temperate rainforests of Chile. *Journal of Mammalogy*, 70(1), 67-78.
- Pesce, O. H., Moreno, P. I. 2014. Vegetation, fire and climate change in central-east Isla Grande de Chiloé (43 S) since the Last Glacial Maximum, northwestern Patagonia. *Quaternary Science Reviews*, 90, 143-157.
- Rovere, A. E., & Premoli, A. C. 2005. Dispersión asimétrica de semillas de *Embothrium coccineum* (Proteaceae) en el bosque templado de Chiloé, Chile. *Ecología austral*, 15(1), 1-7.

Simperl, E., Reeves, N., Phethean, C., Lynes, T., & Tinati, R. 2018. Is virtual citizen science a game? *ACM Transactions on Social Computing*, 1(2), 1-39.

Smith, D. R. 2016. A walk in the park: Is Pokémon Go foreshadowing the future of biodiversity research and scientific outreach? *EMBO reports*, 17(11), 1506-1509.

Smith-Ramirez, C., & Armesto, J. J. 1994. Flowering and fruiting patterns in the temperate rainforest of Chiloe, Chile--ecologies and climatic constraints. *Journal of ecology*, 353-365.

Valenzuela-Risco, C. A. 2018. Determinación de fenoles y antocianinas totales en nueces de *Gevuina avellana* Mol. Memoria de Título. Universidad Austral de Chile.

Valdebenito, G., Molina, J., Benedetti, S., Hormazabal, M., Pavez, C., Péliou, F., y Jaramillo, P. 2015. Serie Estudios para la Innovación FIA Modelos de negocios sustentables de recolección, procesamiento y comercialización de Productos Forestales No Madereros (PFNM) en Chile. Santiago de Chile, 22.

Vohland, K., Land-Zandstra, A., Ceccaroni, L., Lemmens, R., Perelló, J., Ponti, M., y Wagenknecht, K. 2021. The science of citizen science (p. 529). Springer Nature.

Wang, Y., Wang, J., Lai, L., Jiang, L., Zhuang, P., Zhang, L., & Baskin, C. C. 2014. Geographic variation in seed traits within and among forty-two species of *Rhododendron* (Ericaceae) on the Tibetan plateau: Relationships with altitude, habitat, plant height, and phylogeny. *Ecology and Evolution*, 4(10), 1913-1923.

West, S. E., & Pateman, R. M. 2016. Recruiting and retaining participants in citizen science: what can be learned from the volunteering literature? *Citizen science: Theory and practice*.

Witcombe, J. R., Gyawali, S., Subedi, M., Virk, D. S., & Joshi, K. D. 2013. Plant breeding can be made more efficient by having fewer, better crosses. *BMC Plant Biology*, 13, 1-12.

Zhang, S., Chen, H., & Pan, C. 2022. Effects of the Source–Sink Relationship on Walnut Nut Quality at the Scale of the Fruit–Bearing Branch. *Forests*, 13(7), 1034.

ANEXOS

Anexo 1. Consideraciones para tomar una fotografía

Una vez recolectadas las muestras en terreno, se le pidió al usuario trasladarlas a un lugar con mayor comodidad para que tomara una fotografía con un teléfono inteligente con disponibilidad de una fuente de luz artificial, idealmente una luz de una ampolleta eléctrica de luz cálida. Se le instruyó para que tomara una fotografía colocando la cámara de forma paralela y arriba de una hoja blanca nivelada sobre una superficie horizontal, encuadrando la imagen. Se recomendó en el protocolo usar una distancia no mayor a 60 cm aproximados entre el poster y la cámara. Se especificó que la fuente de luz de la fotografía debía estar idealmente sobre la hoja, evitando la generación de sombras de frutas proyectadas en la hoja). En todas las imágenes el usuario utilizó una moneda de 100 CLP como referencia en el centro de la hoja, ya que tiene diámetro conocido constante de 2,34 cm, y luego se le pidió que colocara los frutos o la ramilla sobre la hoja blanca.

Anexo 2. Consideraciones de la metodología utilizada en la resistencia de la cáscara

Se configuró un torquímetro digital (WURTH) para que emitiera un sonido cuando se somete a una fuerza límite. Se programó esta herramienta para que al momento de dejar de aplicar la fuerza en el punto de ruptura se retuviera el valor de dicha fuerza en Nm^{-1} . Se fijó la muestra utilizando una prensa clásica que fue adaptada soldando dos tuercas de 13 pulgadas en los extremos. Se fijó el mango de la prensa a una estructura firme. Se colocó la avellana en la prensa y se giró el eje manualmente para ajustar la presión mínima inicial para asegurar que la muestra estuviera firme en el plano polar del fruto. Se programó una grabación de sonido de la prueba utilizando la función de grabación de sonido de un celular inteligente para registrar la prueba. Cada fruto fue grabado mientras se realizaba la prueba, la cual comenzó al inicio de la aplicación de la carga para la ruptura del fruto. Esta carga fue aplicada a una velocidad constante, configurando un taladro en su mínima velocidad de rotación, el cual se conectó directamente al torquímetro, el cual a su vez estuvo conectado con la prensa con la avellana que se midió. Mientras transcurría cada una de las pruebas, se registró en la grabación, el número de vueltas del taladro, contando cada vez que se completó una rotación. Se registró también el tiempo en donde el torquímetro emitió un sonido cuando alcanzó un umbral de resistencia inferior, el cual fue determinado en $0,4 \text{ Nm}^{-1}$, y el tiempo en el punto de ruptura. Se registró este último valor visible en el torquímetro cuando se dejó de aplicar la carga. En la grabación también quedó registrado el tiempo requerido para alcanzar el punto de ruptura en cada uno de los frutos, el cual se identificó mediante el sonido de “crack” e inspección visual del fruto en la prensa, en ese momento terminó la grabación. En el taladro se registró la distancia para completar una vuelta, para tener una medida precisa del valor de rotación.

Para evaluar la precisión de la metodología utilizada al medir las propiedades mecánicas de la resistencia de la cáscara, se planteó un modelo de regresión lineal múltiple para la predicción de RC en función de las variables del grado de rotación del eje, tiempo en el umbral inferior, tiempo en el punto de ruptura y PC (Anexo 3).

Los resultados mostraron que todos los coeficientes de la regresión asociados a estas últimas variables fueron significativos, con $P < 0,001$, es decir todas ellas tuvieron un efecto estadísticamente significativo en la predicción de RC mediante un modelo lineal, como se puede observar en el Anexo 4.

Anexo 3. Modelo de regresión lineal múltiple utilizado para la predicción de la resistencia de la cáscara de *Gevuina avellana* Mol.

$$RC = X\beta + \varepsilon$$

$$\beta' = (\beta_0 \beta_1 \beta_2 \beta_3 \beta_4)$$

RC: Vector de valores de torque en el punto de ruptura de la cáscara (nx1); X: Matriz de incidencia (nx5); β : Vector de coeficientes de regresión lineal múltiple (5x1); β_0 : Ordenada en el origen; β_1 : Número de vueltas del eje; β_2 : Tiempo en el umbral de resistencia inferior; β_3 : Tiempo en el punto de ruptura; β_4 : Peso de la cáscara; ε : Efecto residual del modelo (nx1). n = 954.

Anexo 4. Valores de los coeficientes de regresión y estadísticos asociados al modelo de regresión lineal múltiple de la resistencia de la cáscara de *Gevuina avellana* Mol.

Coef.	Est.	E.E.	T	p-valor
Ordenada en el origen (β_0)	0,204	0,058	3,524	0,0004
Número de vueltas del eje (β_1)	0,213	0,033	6,408	<0,0001
Tiempo en el umbral de resistencia inferior (β_2)	-0,109	0,007	-15,274	<0,0001
Tiempo en el punto de ruptura (β_3)	0,037	0,004	8,941	<0,0001
Peso de la cáscara (β_4)	0,583	0,047	12,519	<0,0001

Anexo 5. Protocolo para el desarrollo de un póster para estudios del color y morfología del fruto

DESARROLLA UN PÓSTER PARA ESTUDIOS DEL COLOR Y MORFOLOGÍA DEL FRUTO DE AVELLANO CHILENO

Objetivo: Recolectar datos para el estudio del color de madurez y morfología del fruto del avellano chileno a través de la ciencia ciudadana, asociando el estado de color con el momento adecuado para la recolección.

Materiales necesarios:
Bolsas (x2), hoja blanca, teléfono inteligente con cámara, luz artificial, moneda de \$100.

Pasos

- 1. Identificación:** Localiza un avellano chileno maduro, idealmente que tenga frutos en su copa y en el suelo. Asegúrate de que sea seguro y accesible para la recolección.



- 2. Recolección:** En un tiempo máximo de 10 minutos, recoge frutos y cáscaras del suelo y colócalos en una bolsa. Cuenta los frutos de la bolsa al finalizar este paso. Registra este número.
- 3. Cosecha:** En aproximadamente 5 minutos, cosecha frutos desde el árbol y colócalos en una bolsa. Evita subirte al árbol. Cuenta los frutos de la bolsa al finalizar este paso. Registra este número.
- 4. Captura fotográfica:**
 - Traslada las bolsas con avellanas a un lugar cómodo para la toma de fotografías.



- Utiliza un teléfono inteligente con disponibilidad de una fuente de luz artificial, preferiblemente una ampolleta eléctrica de luz cálida, para asegurar una iluminación adecuada y constante.
- Coloca los frutos del suelo en una superficie horizontal y nivelada, sobre una hoja blanca que sirva como fondo contrastante.
- Para construir esta imagen se utilizan 20 frutos. Primero se arma un cuadrado de 3 frutos por lado, situando la moneda como su centro, y luego afuera de este, otro cuadrado con 4 frutos por lado.
- Alinea la cámara del teléfono de forma paralela y encima de la hoja blanca, manteniendo una distancia aproximada de 60 cm entre la cámara y la hoja.
- Encuadra la imagen para capturar toda la hoja en el marco. Asegúrate de que los frutos estén centrados y completamente visibles en la pantalla.
- Toma la fotografía con atención a los detalles, enfocando y ajustando la exposición si es necesario para obtener una imagen clara, bien iluminada y evitando que se generen sombras.
- Repite esto mismo con los frutos cosechados desde el árbol, luego devuelve las avellanas a su bolsa respectiva.

5. Sube tu fotografía
Incorpora estas fotografías a una nueva observación en la aplicación "iNaturalist", junto con otras fotografías del árbol. En una nota agrega el número de avellanas de cada bolsa y recuerda agregar la georreferenciación.

Anexo 6. Protocolo para el armado de un póster para evaluar morfología y área foliar

DESARROLLA UN PÓSTER PARA ESTUDIOS SOBRE LA MORFOLOGÍA DE LAS HOJAS DE AVELLANO CHILENO

Objetivo: Recolectar datos morfológicos de hojas de avellano chileno a través de la ciencia ciudadana

Materiales necesarios:
Tijeras de poda, papel o cartón (x2), libro o cuaderno, cinta adhesiva o clips, cámara o teléfono móvil con capacidad fotográfica, fuente de luz artificial, hoja blanca, moneda de \$100

Pasos

- 1. Identificación:** Localiza un avellano chileno que tenga hojas bien formadas y sanas. Busca una ramilla que crezca acompañada con flores o frutos. Buscamos una ramilla de un año de edad para este estudio.



- 2. Corte:** Utiliza las tijeras de poda para cortar una ramilla cerca de su base. Asegúrate de no dañar las hojas durante el proceso.
- 3. Conservación:** Coloca la hoja cuidadosamente entre dos superficies planas de papel o cartón. Idealmente, utiliza un libro o cuaderno para presionar la hoja y mantenerla plana. Si es posible, utiliza cinta adhesiva o clips para asegurar que la hoja permanezca en su lugar y bien estirada.

4. Captura fotográfica:

- Traslada la ramilla a un lugar cómodo para la toma de fotografías.
- Utiliza un teléfono inteligente con disponibilidad de una fuente de luz artificial, preferiblemente una ampolleta eléctrica de luz cálida, para asegurar una iluminación adecuada y constante.
- Coloca la ramilla a fotografiar en una superficie horizontal y nivelada, sobre una hoja blanca que sirva como fondo contrastante.
- Alinea la cámara del teléfono de forma paralela y encima de la hoja blanca, manteniendo una distancia aproximada de 60 cm entre la cámara y la hoja.
- Coloca una moneda de \$100 al lado de la ramilla.
- Encuadra la imagen para capturar toda la hoja en el marco.
- Asegúrate de que la hoja esté centrada y completamente visible en la pantalla.
- Toma la fotografía con atención a los detalles, enfocando y ajustando la exposición si es necesario para obtener una imagen clara, bien iluminada y evitando que se generen sombras.



5. Sube tu fotografía
Incorpora esta fotografía a una nueva observación en la aplicación "iNaturalist", junto con otras fotografías del árbol y recuerda agregar la georreferenciación.

Anexo 7. Protocolo para la toma de muestras para estudios sobre rendimiento del fruto y resistencia de la cáscara

INSTRUCTIVO PARA EL ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS DE AVELLANAS

Objetivo: Almacenar de manera adecuada las muestras de avellanas recolectadas en el instructivo para el desarrollo de un póster de estudios del color y morfología del fruto, permitiendo realizar pruebas destructivas para medir rendimiento y propiedades mecánicas de la cáscara mediante la aplicación de ciencia ciudadana.

Materiales necesarios:

Bolsas plásticas, idealmente que puedan sellarse herméticamente, espacio en el refrigerador de tu cocina, paño para limpieza, plumon permanente.

Pasos

1. Uso de bolsas plásticas: Coloca las avellanas recolectadas en bolsas plásticas limpias y secas. Asegúrate de que queden bien selladas para evitar la entrada de humedad. Si lo deseas, puedes lavar las avellanas suavemente con agua y secarlas antes de almacenarlas. Esto puede ayudar a eliminar la suciedad y posibles contaminantes.

2. Rotulación: Etiqueta cada bolsa con información relevante, como "Muestras del Suelo" o "Muestras del Árbol", para diferenciar las distintas procedencias. Coloca la fecha y el lugar de la observación.

3. Preparación del espacio en el refrigerador: Crea un espacio en tu refrigerador dedicado exclusivamente para las muestras de avellanas. Asegúrate de que esté limpio y libre de olores fuertes.

4. Almacenamiento a bajas temperaturas: Guarda las bolsas con las muestras en el espacio designado del refrigerador. Mantén una temperatura baja y constante para prevenir el desarrollo de hongos en las avellanas. Ten en cuenta que podrían permanecer ahí durante más de una semana.



5. Contacto para retiro: Escríbenos un correo electrónico o contáctanos a través de nuestras redes sociales para coordinar el retiro de las muestras. Proporcionaremos detalles para la entrega.

Proyecto Nuez Sureña

email : avellano.chilensis@gmail.com

<https://www.inaturalist.org/projects/nuezsurena>

celular: +569 20103508



@NUEZ.SURENA

6. Incentivo por colaboración: Al ponerte en contacto y colaborar con el proyecto, recibirás un premio como agradecimiento por tu participación en la recolección y almacenamiento de las muestras.