



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

2023



FACULTAD DE
**CIENCIAS
AGRARIAS**

Desarrollo de una Aplicación para el cálculo de la Relación Carbono-Nitrógeno de una masa compostable

TESIS DE GRADO DE LA CARRERA: INGENIERÍA EN RECURSOS
NATURALES RENOVABLES

INSTITUCIÓN: FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS – UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO

AUTOR: BUSAJM MELLADO, GONZALO GABRIEL

FECHA: 28/03/2023

**TESIS DE GRADO DE LA CARRERA: INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**INSTITUCIÓN: FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS – UNIVERSIDAD NACIONAL
DE CUYO**

AUTOR: BUSAJM MELLADO, GONZALO GABRIEL

CORREO: gbusajm@est.fca.uncu.edu.ar

DIRECTOR: FERNANDO CASTRO VIDELA

CODIRECTOR: IVAN FUNES PINTER

FECHA: 28/03/2023

RESUMEN:

El proceso de compostaje es una alternativa para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos, previo a su disposición final o reaprovechamiento. El proceso otorga una enmienda estable, higiénica y madura denominada "compost". Dentro de los factores a controlar en una correcta producción de compost, se encuentra su relación Carbono-Nitrógeno (C/N) inicial, cuyo rango ideal se encuentra entre los 25 y 35. El manejo de la relación de un compost se realiza mediante la selección de materiales y cantidades durante la construcción de la pila. La elaboración de un compost puede optimizarse o corregirse, de no encontrarse dentro del rango óptimo, si se conoce la relación C/N de los materiales. El valor de la relación de un compost puede obtenerse mediante análisis de laboratorio o ser estimado mediante modelos matemáticos, debido a que el acceso a un laboratorio no resulta sencillo para muchos generadores de compost. La aplicación del cálculo puede simplificarse con el uso de tecnologías de la información, por su capacidad de almacenamiento y procesamiento de datos. En este trabajo, se desarrolló un software que busca facilitar la información para la elaboración de mezclas de masas de residuos orgánicos compostables, con una correcta relación C/N. Mediante una búsqueda de antecedentes, se comprobó el funcionamiento de otras aplicaciones que estimaban la relación. Se observó las fortalezas y debilidades que poseían, y se buscó puntos donde se podría mejorar. Con el fin de sentar las bases del funcionamiento del programa se realizó una búsqueda de datos bibliográficos necesarios para la estimación de la relación C/N. Se seleccionó el modelo matemático de "Richard y Trautmann", que se vale del peso en húmedo, contenido de humedad, Carbono orgánico total y Nitrógeno total de cada material para calcular la relación. Para el desarrollo del programa se construyó un algoritmo que permite el cálculo de la relación C/N de un compost, y permite estimar la combinación de volúmenes de materiales para llegar a una relación deseada. A partir de la guía de este algoritmo, se codificó el programa en el lenguaje de programación Java, y se creó una versión para Windows y Android. A fin de comprobar la capacidad de la aplicación de estimar combinaciones con una relación C/N deseada, se desarrolló la siguiente metodología: a) se seleccionaron cuatro conjuntos de materiales a partir de la información obtenida mediante búsqueda bibliográfica; b) se estimaron las combinaciones para que los conjuntos de materiales lleguen a una relación C/N de 27 a 32; c) a partir de las 72 combinaciones obtenidas, se realizó una validación mediante el cálculo de la relación C/N a través del modelo de Richard y Trautmann; d) se compararon los resultados obtenidos con los valores esperados por estimación. Se estableció como valor umbral de $\pm 0,5$, de no superar el valor se concluirá que el software se ajusta al modelo. De las 72 combinaciones obtenidas, solo una supero el valor límite, presentando una diferencia de $+0,57$, por lo que se concluye que el programa se ajusta al modelo de Richard y Trautmann. El programa permite predecir la combinación de materiales para acercarse a una relación deseada, o bien calcularla, por lo que se espera que sirva como guía para la elaboración del compost. La estimación de combinación de materiales permite una simplificación en la exploración de distintas alternativas para la construcción de un compost, permitiendo a más personas acercarse a esta técnica. Para comprobar la capacidad de la aplicación de calcular la relación C/N de un compost, se seleccionó un experimento de compostaje a partir de sub-productos de una industria alcoholera. Se realizó el cálculo de la relación a partir de las características de los sub-productos y la composición de las pilas de compostaje. El resultado obtenido se comparó a las características de las pilas obtenidas en el experimento, presentando variaciones respecto a los valores reales. La pila con la mayor variación entre su valor real y el valor calculado de relación C/N, se encontraba dentro del rango ideal para los dos valores. Debido a que la aplicación busca asistir para la construcción del compost con una relación C/N adecuada, se espera que las diferencias entre valor real y valor calculado sean amortiguadas por el amplio rango ideal de la relación.

PALABRAS CLAVE:

Compost; Enmiendas Orgánicas; Residuos; Aplicación; Software; Android; Windows.

ABSTRACT:

The composting process is an alternative for the treatment of the organic fraction of the waste, prior to its disposal or reuse. The process provides a stable, hygienic and mature amendment called "compost". The initial Carbon-Nitrogen (C/N) ratio is among the factors to control in a correct production of compost. The ideal range of the ratio is between 25 and 35. The management of the ratio is done through the selection of materials and its quantities during the construction of the compost. If the ratio is known, the construction can be optimized or corrected. The ratio value of a compost can be obtained by laboratory analysis or estimated by mathematical modeling by those who can't access to a laboratory. The application of the estimation can be simplified with the use of information and communication technologies due to its capacity for data storage and processing. In this work, a software was developed. The application seeks to provide information for the preparation of mixtures of compostable organic waste with an optimal C/N ratio. A background search was carried out, where the operation of other applications that estimated the ratio was verified. The strengths and weaknesses of these tools were observed and sought ideas of where the application could improve. In order to lay the foundations for the program operation, a search of bibliographic data necessary for the estimation of the C/N ratio was carried out. The "Richard and Trautmann" mathematical model was selected. This model uses the wet weight, moisture content, total organic carbon and total nitrogen of each material to calculate the ratio. For the development of the program, an algorithm was constructed. This algorithm allows the calculation of the C/N ratio of a compost and allows estimating the combination of materials needed to reach a desired ratio. Based on the algorithm, the software was codified in the Java programming language. The software was developed for Windows and Android. A methodology was developed to verify the functioning of the application. Four sets of materials were selected from the information obtained by bibliographic search. The combinations to reach the C/N ratios between 27 and 32 were estimated, obtaining 72 in total. A validation was carried out by calculating the C/N ratio of this combinations. The Richard and Trautmann model was used to do this validation. The results obtained were compared with the expected values, establishing a difference of ± 0.5 as a threshold. If the threshold value is not exceeded, it will be concluded that the software will fit the model. Of the 72 combinations obtained, only one exceeded the threshold, with a difference of +0.57. It is concluded that the program conforms to the Richard and Trautmann model. This software, by being able to predict combinations of materials to approach a desired ratio, it's expected that will serve as a guide in the construction of the compost. The estimation of mixed of materials allows a simplification in the exploration of alternatives in a compost, allowing more people to approach this technique. To verify the ability of the application to calculate the C/N ratio of a compost, a composting experiment from by-products of an alcohol factory was selected. The calculation of the C/N ratio was made from the characteristics of the by-products and the composition of the composting piles. The result obtained was compared with the characteristics of the piles obtained in the experiment, presenting variations to the real values. The pile with the greatest variation between its real value and the calculated C/N ratio value was found within the ideal range for both values. Since the application seeks to assist in the construction of compost with an ideal C/N ratio, it is expected that the differences between the real and the calculated value will be cushioned by the ideal wide range of the ratio.

KEYWORDS:

Compost; Organic Amendments; Residue; App; Software; Android; Windows.

AGRADECIMIENTOS:

A mi papá y a mi mamá, por proveerme de todas las oportunidades para estudiar una carrera.

A mis abuelos que siempre me apoyaron, los extraño y desearía que estuvieran presentes.

A los amigos que hice durante la carrera, por ayudarme a llegar hasta acá.

A mi amigo Andrés, por guiarme en los primeros pasos en preparar esta Tesis.

A todos los programadores que comparten ideas y soluciones por el internet.

A la Universidad de Cuyo y sus integrantes, por proveerme de la educación y ayudarme a cambiar mi perspectiva sobre lo que me rodea.

ÍNDICE

1. Formulación del Problema, 1
2. Objetivos, 4
2.1. Objetivo general, 4
2.1. Objetivos específicos, 4
3. Antecedentes, 4
4. Metodología de desarrollo, 5
5. Resultados, 7
6. Conclusiones, 20
7. Bibliografía, 21
ANEXO I, 25
ANEXO II, 34

1. Formulación del Problema

La generación de residuos constituye un problema en la actualidad. Los Objetivos del Desarrollo Sostenible (por sus siglas ODS), en su objetivo número 12 (Producción y Consumo Responsable), define como meta el “*reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización*” (Organización de las Naciones Unidas, 2015). Una de las formas de lograr estos objetivos es mediante la producción de enmiendas agrícolas.

Dentro de los procesos de generación de enmiendas orgánicas, se encuentra la técnica del compostaje. El compostaje consiste en una transformación de materiales biodegradables en condiciones controladas y aerobias. El producto resultante es conocido como “*compost*” y está constituido por materia orgánica distinta a la que le dio origen (Funes Pinter et al., 2018). Es considerado un proceso simple y económicamente viable, dentro de las distintas técnicas destinadas al reciclaje de residuos orgánicos (Ruggieri et al., 2008).

La aplicación del compost puede generar diversos beneficios ambientales y productivos (Román et al., 2013; Mazzeo, 2012):

- Reducción del volumen de la fracción orgánica de los residuos.
- Reducción de las emisiones de metano y otros gases de efecto invernadero.
- Reducción de la contaminación de cuerpos de agua superficial por escorrentía y subsuperficial por lixiviados.
- Reducción de la contaminación del suelo.
- Reducción de la generación de malos olores y contaminación visual por parte de los residuos.
- Reducción de vectores de enfermedades, como insectos y ratas.
- Aumento de fertilidad del suelo mediante el aporte de nutrientes, materia orgánica, mejora de estructura y aporte de microorganismos.
- Favorecimiento de la biodiversidad de micro y macrofauna del suelo.
- Reducción de la erosión.
- Reducción de costos a los productores por el ahorro en fertilizantes.
- Simplificación de las labores culturales.

La técnica de compostaje también genera efectos indirectos como: favorecer la separación y recolección diferenciada de materiales reciclables; la reducción de la frecuencia de recolección, acopio y disposición final en zonas urbanas y periurbanas; y reducción de riesgos de incendio en zonas de acopio de residuos de poda (Garrido et al., 2015). Los beneficios que produce la generación de compost, convierten en necesidad el difundir esta técnica en la agricultura y para el tratamiento de la fracción orgánica de los residuos de industria y hogares.

La duración del proceso de compostaje es variable, debido a que depende de la riqueza y calidad de la mezcla de materia orgánica, del control que se lleva a cabo del proceso, de los sistemas tecnológicos utilizados, etc. (Agencia de Residuos de Cataluña, 2016). En la Argentina, por normativa, el proceso se da por finalizado cuando el producto posee las siguientes características (Resolución Conjunta 1/2019):

- Estable: el producto alcanza un equilibrio de su actividad biológica y temperatura similar al ambiente.
- Higiénico: La presencia de agentes patógenos se encuentra por debajo de los límites establecidos.
- Maduro: El producto es estable y no presenta sustancias que pueden afectar el crecimiento vegetal.

Las características y calidad del producto son evaluadas mediante el cumplimiento de los requisitos presentados en la Resolución Conjunta 01/2019 de la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental (SCyMA) y el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). La resolución establece valores límites para distintas características físico-

químicas. Algunas de estas características son: pH, presencia de patógenos, conductividad eléctrica, humedad, relación Carbono-Nitrógeno final, presencia de elementos potencialmente tóxicos (Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental; Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, 2019).

El cumplimiento de los requisitos presentados en la Resolución Conjunta 01/2019 permite el ingreso del producto al Registro Nacional de Fertilizantes para su futura comercialización. Al ingresar al registro se le asigna una de las siguientes categorías: "Compost Clase B", presenta restricciones de uso y aplicación, y "Compost Clase A", no se ve afectada por restricciones de uso (Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental; Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, 2019).

El proceso es llevado a cabo por comunidades microorganismos presentes en el compost. Debido a la actividad metabólica de estos microorganismos y la dificultad de disipar el calor dentro del compost, producen un aumento paulatino de la temperatura y de la actividad de la microflora termófila latente. El agotamiento de materiales degradables, el aumento de la proporción de CO₂ y la disminución de la actividad metabólica, produce la reducción de temperatura (Mazzarino y Satti, 2012).

Las etapas de diferentes condiciones de temperatura que atraviesa el proceso, son clave para una correcta higienización del compost. La Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental (SCyMA) y el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) dividen estas variaciones de temperatura en tres etapas (Resolución Conjunta 1/2019):

- una primera etapa mesófila (con temperaturas menores a los 45°C).
- una etapa termófila (dónde la temperatura del compost debe superar los 45°C).
- una etapa de maduración o segunda etapa mesófila (Figura 1).

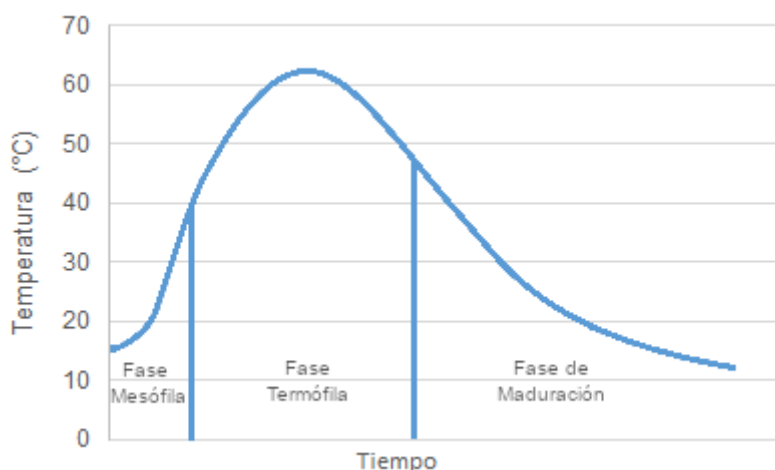


Figura 1. Variación de la Temperatura en el compost. Fuente: Adaptado de Mazzarino y Satti (2012, pág. 7).

El desarrollo de las etapas de variación de temperatura se ve influenciado por las condiciones en las que se encuentran los microorganismos. Estas condiciones se deben a factores como la aireación, el contenido de humedad, el pH, los contenidos nutricionales y la relación Carbono-Nitrógeno (C/N) de los materiales (Negro, et al., 2000). El control de los factores a lo largo del proceso de compostaje permite maximizar la eficiencia del proceso.

Dentro de todos estos factores, este trabajo busca destacar la importancia del Carbono y el Nitrógeno. La importancia radica en su rol en la alimentación de los microorganismos, siendo el Carbono la fuente de energía y el Nitrógeno un elemento clave para la biosíntesis de aminoácidos y proteínas por parte de los organismos (Bohórquez Santana, 2019).

La actividad metabólica es importante para la higienización del compost, por lo que un buen balance nutricional es clave para obtener un producto de calidad en un tiempo óptimo. Este

balance nutricional está dado por la relación C/N inicial del compost, cuyo valor ideal para este proceso, se encuentra entre 25-35 (Bohórquez Santana, 2019).

Si se encuentra el valor de la relación C/N por encima de 35, la actividad metabólica se vuelve lenta debido a la poca concentración de Nitrógeno, que dificulta la biosíntesis de aminoácidos. En cambio, por debajo del rango el proceso se vuelve más rápido, pero ineficiente debido a la pérdida de Nitrógeno por mineralización en forma de amoníaco. La mineralización implica una menor concentración de Nitrógeno en el producto final, lo que afecta su calidad (Bohórquez Santana, 2019). La relación C/N va disminuyendo hasta tomar valores cercanos a 10 al final del proceso debido a la respiración celular y la expulsión del Carbono en forma de CO₂ (Richard & Trautmann, 1996).

Cuando la relación C/N inicial no se encuentra en niveles ideales, se puede corregir aumentando el contenido de carbono o de nitrógeno mediante el Co-compostaje, que consiste en la incorporación de materiales compostables (también llamados co-sustratos) para compensar las deficiencias de los materiales originales (Ruggieri et al., 2008). De ahí surge la incógnita de qué co-sustrato agregar y en qué cantidad.

Mediante la aplicación de métodos analíticos en laboratorio se obtiene la relación C/N y demás características de un compost o de sus materiales. Un ejemplo se encuentra en el *“Compendio de métodos analíticos para la caracterización de residuos, compost y efluentes de origen agropecuario y agroindustrial”*, donde se exponen métodos que pueden utilizarse en laboratorio para obtener el Carbono Orgánico total y Nitrógeno total, datos necesarios para calcular la relación C/N.

El compendio explica cómo obtener el Carbono orgánico total de una muestra seca, mediante la calcinación a una temperatura de 550 ± 50 °C. La obtención del Nitrógeno total se realiza mediante la destrucción de la materia orgánica de una muestra con ácidos, destilación del gas de nitrógeno resultante, captación del gas en una solución y posterior titulación (Martínez et al., 2021). Los valores obtenidos por laboratorio pueden utilizarse para obtener la relación C/N de un compost, o de los materiales que lo componen, y comprobar si se encuentra dentro de los parámetros ideales. La necesidad de material de laboratorio y mano de obra capacitada para llevar a cabo los procesos resulta un impedimento para que la mayoría de gente obtenga la relación C/N de un compost mediante este método.

Una forma alternativa para estimar la relación C/N de un compost es mediante modelos matemáticos. Los modelos requieren características de los materiales como, la masa en húmedo, contenido de humedad, Carbono orgánico total y Nitrógeno total (Richard & Trautmann, 1996). La información necesaria para la estimación, puede obtenerse a través de publicaciones científicas. El valor estimado, puede ser utilizarse para comprobar si se ha construido un compost con una relación ideal, o cómo corregirlo mediante el agregado de co-sustratos.

Los métodos y la información necesaria para calcular la relación C/N pueden ser aprovechados por programas informáticos, debido a su capacidad de procesar información en cuestión de segundos. La información obtenida a partir de publicaciones científicas, puede ser guardada en una base de datos, estando siempre disponible para realizar la estimación. De esta forma, se podría beneficiar a quien busque realizar compostaje y no cuente con acceso a un laboratorio.

Por su capacidad de procesar la información y, debido a que en la Argentina el 63,8% de los hogares urbanos tiene acceso a computadora, el 88% de las personas emplean teléfono celular y el 85% utilizan internet (INDEC, 2020) se decidió desarrollar un software abierto para plataformas con sistema operativo Windows y celulares Android. Se busca que este programa sirva para asistir al usuario en la producción de compost con una correcta relación C/N, guiándolos en el acceso a información local, nacional e internacional y el cálculo sin necesidad de que posean demasiado conocimiento sobre el rol de esta relación en el proceso de compostaje.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

- Facilitar la información para la elaboración de mezclas de masas de residuos orgánicos compostables, con una correcta relación Carbono/Nitrógeno, mediante el uso de una aplicación informática.

2.2. Objetivos específicos

- Recopilar valores teóricos de Carbono/Nitrógeno de distintos materiales compostables.
- Seleccionar una ecuación para el cálculo de la relación Carbono/Nitrógeno a partir de distintos materiales compostables.
- Desarrollar un algoritmo para el cálculo de la relación Carbono/Nitrógeno, a partir de los datos obtenidos para los distintos materiales compostables.
- Desarrollar una interfaz simple y accesible para los usuarios de la aplicación.
- Validar los resultados obtenidos por la aplicación.

3. Antecedentes

Si bien la importancia de la Relación C/N en el proceso de compostaje está ampliamente estudiada, es complicado traducir estos conocimientos en formas prácticas que puedan ser aprovechadas para impulsar el uso de esta técnica entre la población. En la actualidad existen métodos para el cálculo de esta relación, pero su uso requiere acceso a la información y conocimientos previos acerca de esta relación.

En el *“Manual de Compostaje del Agricultor: Experiencias en América Latina”*, la F.A.O aporta dos formas para el cálculo de la relación C/N:

- Mediante la realización de un promedio por partes de las relaciones C/N de dos materiales utilizados. El manual expresa que esto puede servir como referencia, pero siempre habrá un margen de error, ya que no se realizan ajustes por la humedad de los materiales o la disponibilidad del Carbono o Nitrógeno (Román, et al., 2013).
- Mediante la fórmula matemática de Richard y Trautmann (Ecuación 1), que requiere conocimiento previo del Carbono orgánico total, Nitrógeno total y Humedad en peso de cada material utilizado.

$$R = \frac{Q_1 \times (C_1 \times (100 - H_1)) + Q_2 \times (C_2 \times (100 - H_2)) + \dots + Q_n \times (C_n \times (100 - H_n))}{Q_1 \times (N_1 \times (100 - H_1)) + Q_2 \times (N_2 \times (100 - H_2)) + \dots + Q_n \times (N_n \times (100 - H_n))}$$

Donde:

R = Relación Carbono-Nitrógeno de la masa compostable.

Q = cantidad (en masa) de material adicionada.

C = Carbono en peso del material.

N = Nitrógeno en peso del material.

H = Humedad en peso del material.

Ecuación 1. Cálculo de la relación de Carbono-Nitrógeno de una masa compostable a partir de distintos materiales. Fuente: Richard y Trautmann, 1996.

Para obtener valores mediante estos métodos, son necesarios datos obtenidos analíticamente, y otros datos que pueden ser estimados a nivel de campo. El requerimiento de datos de los materiales aporta complejidad, que impide la utilización de esta ecuación por parte de personas que no pueden acceder a un laboratorio. Es necesario que la información esté disponible para que todos puedan acceder a ella, por lo menos aquellos que no puedan ser estimados a campo.

Se han creado distintos programas informáticos que permiten el cálculo de la relación C/N para distintas plataformas a partir de estos métodos y datos. A continuación, se mencionarán ejemplos de programas para el cálculo de la relación C/N:

En la página web del instituto de manejo de desechos de Cornell, se puede acceder a una aplicación web para el cálculo de la relación C/N, con un límite máximo de tres materiales. Requiere que el usuario aporte la información necesaria para hacer el cálculo y la descripción de su funcionamiento es en inglés (Cornell Waste Management Institute, 1996).

Desde la página web de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural de la Junta de Andalucía, se puede descargar una planilla Excel. La planilla permite el diseño de una mezcla adecuada de ingredientes para el compostaje, mediante un método de cálculo adaptado a partir de la ecuación de Richard y Trautmann. Cuenta con valores predeterminados de carbono, nitrógeno, humedad y densidad aparente de distintos ingredientes, procedentes de una base de datos. A partir del resultado obtenido, permite dimensionar la superficie de una pila de compostaje y un depósito para la recogida de lixiviados por medio de información sobre las lluvias máximas diarias del Ministerio de Fomento (González Provost, et al., 2017).

“*WSU-Puyallup compost mixture calculator versión 2.1*”, es una herramienta en inglés que consiste en una planilla Excel o en una versión online para teléfonos y tabletas (requiere estar registrado en la página para acceder a esta versión) desarrollada por la Universidad Estatal de Washington. La herramienta permite el cálculo de la relación C/N y humedad de un compost, a partir de la información de los materiales componentes. Cuenta con una base de datos de materiales obtenido de Rynk et al. (1992) y de información proporcionada por la Universidad. La herramienta posee funciones adicionales para determinar la densidad y el espacio de aire libre de cada material (Washington State University).

Compost Calculator UMH es una aplicación para celulares que realiza el cálculo de la relación C/N, a partir de materiales presentes en una base de datos o mediante el ingreso de información por parte del usuario. Los datos que requiere para agregar un material son: contenido de humedad, Carbono orgánico total y Nitrógeno total, pH, conductividad eléctrica, concentración de fósforo y potasio (Universidad Miguel Hernández, 2019). Parte de la información requerida es mucho más difícil de obtener mediante bibliografía y de determinar a campo. De no agregar la totalidad de la información, no permite el ingreso del material.

Las distintas aplicaciones informáticas varían en su utilidad para el público no especializado, dependiendo de la presencia de bases de datos y de la información necesaria para el cálculo. Las aplicaciones que cuentan con bases de datos, suelen utilizar información solo de los países donde fueron desarrolladas. Otro aspecto que limita su utilidad a nivel local es el idioma, debido a que muchas solo están disponibles en inglés. Al tratarse de un proceso técnico, a veces utiliza términos que pueden ser complejos, incluso si el usuario entiende el idioma.

Por último, todas las aplicaciones requieren que el usuario aporte el peso de los materiales y obtenga como resultado la relación C/N del compost. Una utilidad que podrían poseer los programas, es la capacidad de predecir los volúmenes de materiales necesarios para llegar a una relación C/N específica. La predicción de volúmenes otorgaría indicaciones acerca de la composición del compost, facilitando su construcción.

4. Metodología de desarrollo

Búsqueda de datos Bibliográficos necesarios para el cálculo de la relación Carbono-Nitrógeno de la masa compostable

Se realizó una búsqueda bibliográfica de la información necesaria para el cálculo de la relación C/N a partir de distintos materiales. La información requerida para el cálculo es la densidad aparente o peso seco, el porcentaje de humedad, Carbono orgánico total y Nitrógeno total (o la relación) de distintos materiales.

Algunos de los datos obtenidos a través de publicaciones y libros científicos no presentan la totalidad de los datos necesarios. Si no se cuenta con la relación C/N, el Carbono orgánico total o el Nitrógeno total, puede obtenerse el valor faltante utilizando los dos valores que se posea.

De no contar con el contenido de humedad, puede estimarse a través la diferencia de peso entre el material fresco y el material seco. Si falta la densidad puede obtenerse mediante el peso del material en un recipiente de volumen conocido.

Se decidió agregar la información obtenida en bases de datos, incluso si no cuentan con la totalidad de los datos necesarios. La incorporación de información incompleta se debió a la capacidad de obtener algunos datos a partir de los demás u estimar un valor a campo.

Definición de la ecuación a utilizar para el cálculo de la relación Carbono-Nitrógeno de la masa compostable






Se adaptó el método por promedios propuesto por la F.A.O., para poder utilizar varios materiales a la vez. Luego se realizarán cálculos con este método adaptado (mediante volumen y con masa) y la ecuación de Richard y Trautmann (Ecuación 1), a partir de un conjunto de datos obtenidos a partir de la bibliografía. El criterio de selección de los materiales se basó en que la información sea de un mismo autor, cuenten con toda la información necesaria para el cálculo y sus relaciones C/N que se encuentran fuera del rango ideal.

Se comprobó la similaridad de los resultados obtenidos mediante el método por promedio ponderado, y por Richard y Trautmann. De no haber grandes diferencias entre los resultados, se utilizará el método de los promedios. Utilizar el método de los promedios sería beneficioso debido a que requiere menor cantidad de datos.

Definición del Algoritmo para obtener una masa compostable mediante la relación Carbono-Nitrógeno

Un algoritmo se puede definir como un método lógico para resolver un problema. El desarrollo de un algoritmo puede llevarse a cabo mediante la construcción de un diagrama de flujo, que consiste en expresar los pasos del método en cajas unidas por flechas o líneas de flujo (Tabla 1), que indican la secuencia en que va proceder el programa (Gómez, 2012).

Tabla 1. Símbolos de un diagrama de flujos y sus funciones. Fuente: Gómez (2012).

Símbolo	Función
	Terminal. Representa cuando inicia y termina el programa
	Entrada y Salida de datos
	Proceso. Representa las operaciones que originan cambios en el programa
	Decisión. Representa operaciones lógicas e indica donde continúa el programa al seleccionarse una opción
	Indicador de dirección o línea de flujo. Apunta hacia donde continúa el programa

A partir de la iconografía presentada por Gómez (2012) y de la ecuación seleccionada, se creó un algoritmo mediante un diagrama de flujo. Se definió para el programa: el inicio, final, las decisiones a tomar y la entrada de datos necesarios para obtener como salida una masa compostable con una relación C/N deseada.

Desarrollo de la aplicación para Windows y Android

El desarrollo consiste en la traducción del Algoritmo a código ejecutable en Sistemas Operativos Windows y Android. Se seleccionó el lenguaje de programación Java, debido a su gran extensión, pudiendo ser utilizado para programar para Windows y Android.

La elección del lenguaje de programación se vio acompañada de la selección de un Entorno de Desarrollo Integrado (IDE por sus siglas en Inglés), plataforma que permite la escritura de código y contiene distintas herramientas para facilitar el desarrollo de software. Se seleccionaron dos IDE que permiten trabajar en Java: NetBeans para el desarrollo de la aplicación para Windows y AndroidStudio para el desarrollo en Android.

Validación de la aplicación

La aplicación posee dos funciones complementarias, las cuales se basan en el método de Richard y Trautmann. Como parte del desarrollo, se han llevado a cabo validaciones de su capacidad de estimar combinaciones de materiales de una relación C/N específica y su capacidad de la aplicación de calcular la relación C/N de un experimento de compostaje. Para la validación se procedió de la siguiente manera:

- A partir de las características de materiales compostables obtenidas por bibliografía (Anexo I), se seleccionaron 4 conjuntos de datos. Se buscó que estos conjuntos poseyeran materiales de origen agropecuario o agroindustrial y no se compusieran de datos de un único autor. Las características de estos grupos fueron agregadas al programa y se obtuvieron distintas combinaciones de volúmenes de materiales necesarios para llegar a una relación C/N de 27 al 32. Luego se comprobó si las combinaciones de materiales se acercan a la relación deseada mediante el cálculo de la relación por la ecuación de Richard y Trautmann en una planilla de datos.
- Se seleccionó un informe de un experimento de compostaje. Se agregó al programa los materiales utilizados en el experimento y sus características. Se buscó la composición de las pilas de compostaje y las relaciones C/N iniciales de cada una. A través de la composición de las pilas, se realizó el cálculo de la relación C/N mediante la aplicación y se comparó los resultados con los presentados en el informe.

Distribución de la aplicación en plataformas en línea

La aplicación se distribuirá de dos formas: mediante formato de código libre, para usuarios que busquen modificar la aplicación a su conveniencia; y en forma de instalador para Android y versión portable de Windows, para aquellos que no estén interesados en la personalización de la herramienta. La distribución se hará a través de la plataforma GitLab, un repositorio para software de código abierto.

5. Resultados

Búsqueda de datos Bibliográficos necesarios para el cálculo de la relación Carbono-Nitrógeno de la masa compostable

A partir de la búsqueda bibliográfica se obtuvieron los valores de la Relación C/N de distintos materiales compostables y demás características necesarias para el cálculo. Los datos bibliográficos pueden observarse en el Anexo I. En las tablas 2, 3 y 4 puede observarse los tipos de datos obtenidos, sus fuentes y algunas aclaraciones acerca de la información obtenida.

Tabla 2. Información obtenida mediante bibliografía para el cálculo de la relación C/N a nivel Internacional.

Nivel Internacional					
Datos Presentes de los materiales					Fuente
Humedad	Densidad Aparente	Nitrógeno total	Carbono orgánico total o Relación C/N	Observaciones	
			√	-	USDA (2011)
		√	√	-	Rivera y Agredo (2020)
			√	-	Román et al. (2013)
√	√	√	√	Compilación de datos de otros autores.	González Provost et al. (2017)
√	√	√	√	No presenta la relación C/N, pero se obtuvo a partir del Nitrógeno total y el Carbono orgánico total.	Peña et al. (2020)
√	√	√	√	Cuenta con una gran variedad de datos. Hay materiales que presentan valores máximos, mínimos y promedios. Algunos materiales presentan la totalidad de los datos.	Rynk et al. (1992)

Tabla 3. Información obtenida mediante bibliografía para el cálculo de la relación C/N a nivel Nacional.

Nivel Nacional					
Datos Presentes de los materiales					Fuente
Humedad	Densidad Aparente	Nitrógeno total	Carbono orgánico total o Relación C/N	Observaciones	
√	√	√	√	Cuenta con la totalidad de los datos de los materiales. Los valores son promedios de tres muestras ± desvío estándar	Leconte (2010)
√		√	√	-	Orden (2018)
		√	√	-	Herrera et al. (2018)
		√	√	-	Moisés et al. (2018)
√	√	√	√	Presenta los datos ± desviación estandar. No presenta la relación C/N, pero se obtuvo a partir del valor promedio del Carbono orgánico total y del Nitrógeno total.	Riera et al. (2014)
√		√	√	-	Moschione et al. (2010)

Tabla 4. Información obtenida mediante bibliografía para el cálculo de la relación C/N a nivel Provincial.

Nivel Provincial					
Datos Presentes de los materiales					Fuente
Humedad	Densidad Aparente	Nitrógeno total	Carbono orgánico total o Relación C/N	Observaciones	
√	√	√	√	No presenta el Carbono orgánico total, pero se obtuvo a partir del Nitrógeno total y la relación C/N.	Pasqualotto (2022)
√	√	√	√	No presenta el Carbono orgánico total, pero se obtuvo a partir del Nitrógeno total y la relación C/N.	Uliarte (2016)

Definición de la ecuación a utilizar para el cálculo de la relación Carbono-Nitrógeno de la masa compostable

El método propuesto por la F.A.O. estima la relación C/N de la mezcla a partir de un promedio ponderado entre dos materiales. Se adaptó el método a la siguiente fórmula para permitir el cálculo de la relación C/N de varios materiales (Ecuación 2):

$$R = \frac{CN_1 \times Q_1 + CN_2 \times Q_2 + CN_3 \times Q_3 + \dots + CN_n \times Q_n}{(Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n)}$$

Donde:

R = Relación Carbono-Nitrógeno de la masa compostable.

Q = cantidad de material adicionada.

CN = Relación Carbono-Nitrógeno del material.

Ecuación 2. Cálculo del promedio de la relación de Carbono-Nitrógeno de una masa compostable a partir de distintos materiales. Fuente: Elaboración Propia.

A partir de la información contenida en el Anexo I, se produjo una selección de un grupo de materiales. A continuación, puede observarse las características que presentan los materiales seleccionados (Tabla 5).

Tabla 5. Conjunto de datos para el cálculo de la relación C/N a partir de combinaciones de volúmenes de los materiales.

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m3)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
Escombros de procesado de papa y maíz	75,1	800	0,9	57,2	63,56	Peña et al. (2020)
Cascara de arroz	2	100	0,4	46,5	116,25	Peña et al. (2020)
Aserrín	54,1	100	0,7	56,4	80,57	Peña et al. (2020)
Guano de vaca lechera	5	300,00	3,7	32,6	8,81	Peña et al. (2020)
Torta de filtro de caña de azúcar	52,3	400	0,5	12,2	24,40	Peña et al. (2020)

La tabla 6 muestra la comparativa de los resultados obtenidos a través del método de promedio ponderado (Ecuación 2), a partir de partes y de masa (obtenida mediante la multiplicación de la cantidad o volumen agregado con la densidad aparente del material); y los resultados obtenidos por la ecuación de Richard y Trautmann (Ecuación 1) para distintas combinaciones de los materiales.

Tabla 6. Combinaciones de volúmenes (m^3) de los materiales para el cálculo de la relación C/N.

Material	Escombros de procesado de papa y maíz	Cáscara de arroz	A serrín	Guano de vaca lechera	Torta de filtro de caña de azúcar
Combinación 1	1	0	0	0	0
Combinación 2	1	1	0	0	0
Combinación 3	0	0	0	1	1
Combinación 4	1	1	1	0	0
Combinación 5	1	1	1	1	1
Combinación 6	1	2	1	2	2
Combinación 7	2	2	2	2	2
Combinación 8	3	2	3	2	3
Combinación 9	4	2	4	2	4
Combinación 10	4	6	4	6	4

En la figura 2 se observa que la variación de la relación C/N obtenida por los métodos aumenta a medida que se agregan más materiales, lo que hace al método por promedios sea útil para pocas cantidades y pocos materiales. Debido a la gran diferencia entre los resultados obtenidos para los distintos métodos, el programa utilizará la ecuación de Richard y Trautmann (Ecuación 1).

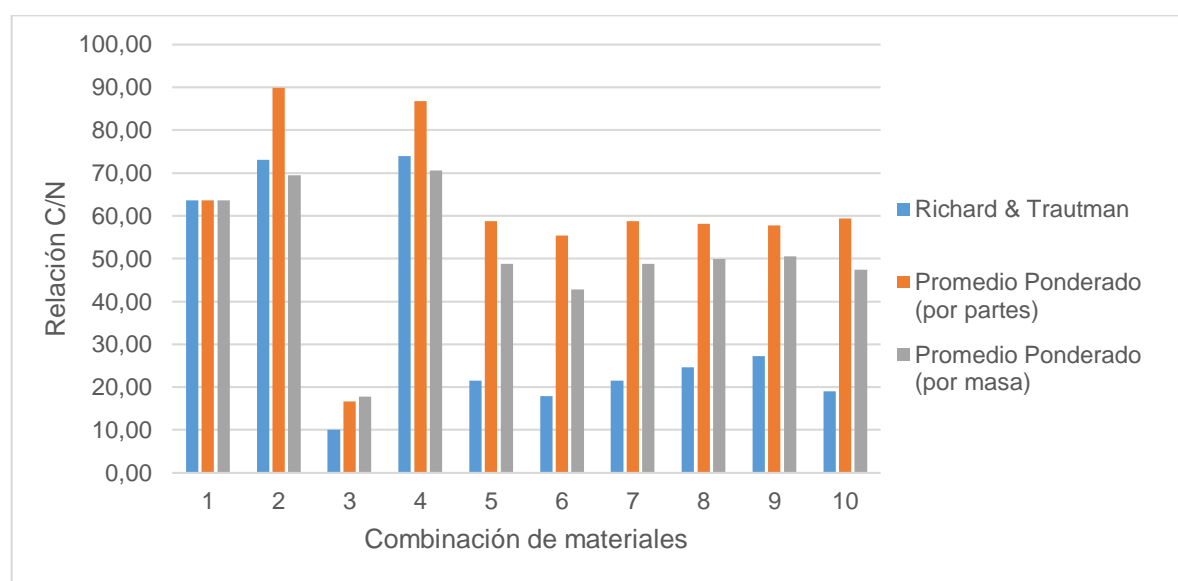


Figura 2. Relación C/N obtenida a partir de las combinaciones de materiales mediante los métodos de promedio ponderado y Richard y Trautmann.

Definición del Algoritmo para obtener una masa compostable mediante la relación Carbono-Nitrógeno

Previo al desarrollo del algoritmo que alimentará a la aplicación, se realizó un análisis del problema teniendo en cuenta los siguientes elementos (Gómez, 2012):

- Ingreso de datos: densidad aparente, humedad, carbono orgánico total, nitrógeno total de los materiales y Relación C/N deseada para la mezcla o alternativamente los volúmenes de cada material.
- Operación: resolución de la ecuación de Richard y Trautmann a partir de las características de los materiales compostables agregados.
- Salida de datos: Combinación de materiales para llegar a la relación C/N deseada para la mezcla o relación resultante de una combinación de materiales.

Originalmente se había planteado que el usuario agregaría la combinación de materiales y que el programa realizaría el cálculo de la relación C/N de la mezcla. El algoritmo que puede observarse a continuación (Figura 3), fue ampliado respecto a esta idea original.

El usuario agrega la relación C/N a la que desea que se encuentre el compost, y obtiene como resultado la combinación de volumen de cada material, necesario para llegar a ese valor. Alternativamente, el usuario puede elegir agregar los volúmenes de materiales que desea utilizar y obtener la relación C/N de esa mezcla. El algoritmo también busca permitir que el usuario pueda agregar datos por cuenta propia, generando una entrada alternativa de información.

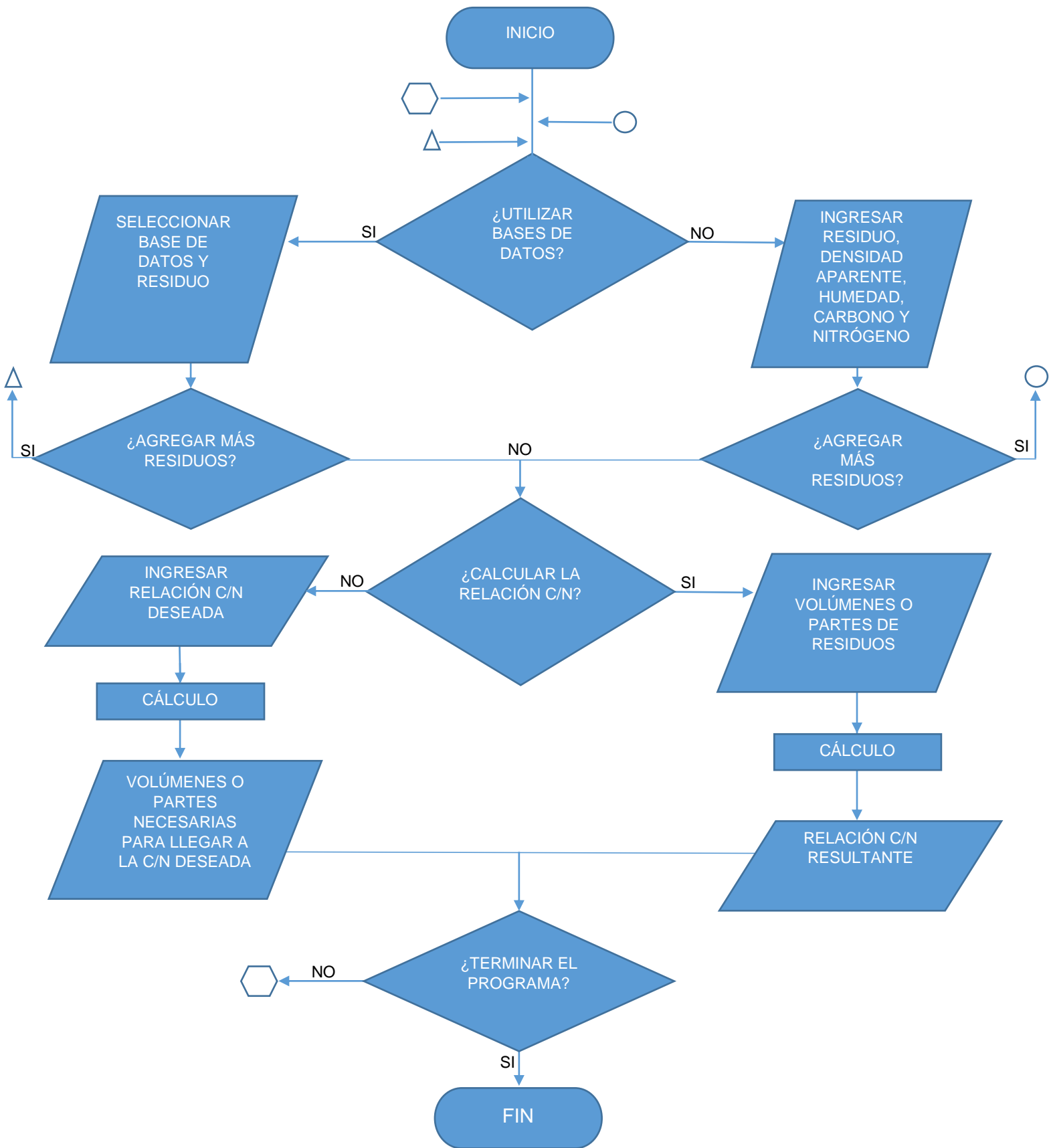


Figura 3. Diagrama de flujo del Algoritmo. Fuente: Elaboración Propia.

Desarrollo de la aplicación para Windows y Android

La traducción del algoritmo (Figura 3) a código en lenguaje Java, para el caso presente, consistió en tres partes esenciales:

- La captación de datos. Al agregar un material, se reserva temporalmente su nombre y características (densidad aparente, contenido de humedad, carbono orgánico total y nitrógeno total). Luego se debe ingresar la relación a la que se desea llegar o los volúmenes de los materiales con los que se va a trabajar.
- El cálculo mediante la resolución de la ecuación de Richard y Trautmann:
 - La resolución a partir de los volúmenes y características de los materiales.
 - La iteración de la resolución de la ecuación a partir de las características de los materiales y volúmenes asignados por la aplicación, hasta obtener un resultado que se encuentre entre la relación C/N deseada $\pm 0,5$. Por cada intento fallido, el sistema aplica un aumento del volumen de materiales con relaciones C/N que compensen el exceso o defecto de la relación de la mezcla. Este proceso se repite para comprobar si existe una segunda combinación posible.
- La devolución de resultados. El sistema muestra al usuario una o dos combinaciones de partes o volúmenes de los materiales agregados que llevan a la relación C/N deseada $\pm 0,5$ o la relación resultante de los volúmenes agregados.

También consistió en la creación de una Interfaz Gráfica de Usuario (por sus siglas en inglés GUI), lo que se puede definir como la parte de un software que el usuario percibe e interactúa (Albornoz et al., 2017). El diseño buscó permitir agregar materiales desde bases de datos (Figura 4-A), desde datos aportados por el mismo usuario (Figura 4-B), agregar los volúmenes de los materiales para calcular su relación (Figura 4-C) y las características de los materiales agregados (Figura 4-D).

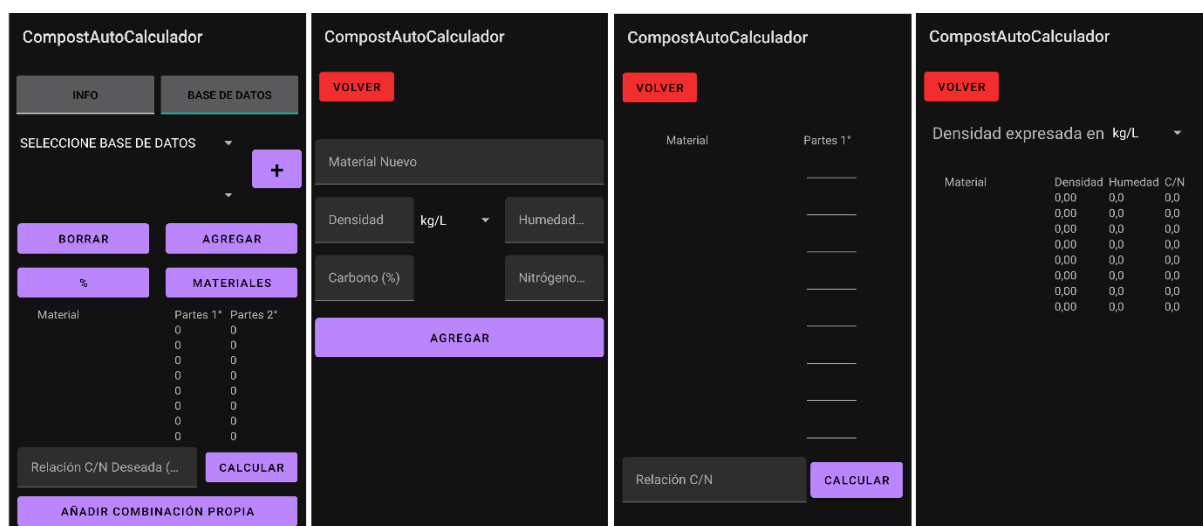


Figura A

Figura B

Figura C

Figura D

Figura 4. Interfaz gráfica de usuario (GUI) de la aplicación en Android.

Validación de la aplicación con los datos

Para la validación de la capacidad de obtener combinaciones de materiales con relación C/N ideal, se seleccionaron distintos conjuntos de materiales a nivel Internacional, Nacional y Provincial. Los materiales seleccionados contaban con su densidad aparente, humedad, Carbono orgánico total y Nitrógeno total.

Las combinaciones de materiales obtenidas mediante el programa, son valores adimensionales que pueden ser interpretados en distintas unidades de volumen. Para la validación y su explicación se les asignó la unidad de m³, debido a que la densidad aparente de los materiales en el Anexo I está expresada en kg/m³.

El programa estima las combinaciones, asignando a cada material seleccionado un volumen de 1m³, y calcula la relación C/N de la mezcla. Si la relación no llega al valor deseado $\pm 0,5$ se produce un aumento de 1 m³ a materiales que puedan corregir la relación hacia el valor deseado. Para la primera combinación, se aumenta el primer material, se calcula la relación y, de no llegar al valor deseado, se hace el mismo proceso con el segundo material y así sucesivamente. Si completa el recorrido de los materiales y no ha llegado al valor deseado, el proceso vuelve a empezar, pero conservando los aumentos realizados. Para la segunda combinación, el aumento solo se produce en el primer material. Al priorizar el aumento del volumen de materiales mediante su orden de selección, hace posible obtener distintas combinaciones a partir de los mismos materiales.

Los conjuntos de materiales seleccionados fueron cargados al programa y se calcularon combinaciones con una relación C/N de 27 a 32. Se decidió correr cada conjunto de materiales una segunda vez, invirtiendo el orden de selección de los materiales, con el fin de obtener combinaciones de volúmenes adicionales. Se obtuvo como resultado entre una a cuatro combinaciones de cada relación C/N, para cada conjunto de datos.

Las combinaciones obtenidas fueron utilizadas para calcular la relación C/N (Anexo II) y se observó la aproximación de estos resultados a la relación C/N esperada. De aproximarse a la relación deseada en una diferencia no mayor a $\pm 0,5$ (variación límite permitida por el programa), se concluirá que el programa se ajusta al modelo de Richard y Trautmann.

Los datos utilizados y valores obtenidos pueden observarse a continuación (Tablas 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 y 14. Figuras 5, 6, 7 y 8):

Tabla 7. Primer conjunto de datos de nivel internacional para la validación de datos a través de la aplicación y cálculo de la ecuación de Richard y Trautmann.

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m3)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Fuente
Desechos de procesamiento de Fruta	80,3	800	1,9	55,2	Peña et al. (2020)
Lodo de procesamiento de papa	77	900	1,8	48,3	Peña et al. (2020)
Escombros de procesado de papa y maíz	75,1	800	0,9	57,2	Peña et al. (2020)
Cascara de arroz	2	100	0,4	46,5	Peña et al. (2020)
Guano de caballo	72	818,1276	1,6	48	Rynk et al. (1992)
Poda de árboles	70	768,89	3,1	49,6	Rynk et al. (1992)

Tabla 8. Combinaciones de volúmenes (m^3) de materiales para llegar a la relación C/N deseada, estimadas por la aplicación a partir del primer conjunto de datos de nivel internacional.

Material	Conjunto A-1					Conjunto A-2					Conjunto A-3					Conjunto A-4			
Desechos de procesamiento de Fruta	2	2	1	2	2	1	1	1	7	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1
Lodo de procesamiento de papa	3	2	1	2	2	1	13	3	1	1	2	3	2	1	2	1	1	1	1
procesado de papa y maíz	2	2	1	3	3	2	1	1	2	2	1	2	2	1	3	1	1	1	1
Cascara de arroz	2	1	1	2	3	1	1	1	1	1	2	3	3	2	4	2	3	7	3
Guano de caballo	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
Poda de árboles	3	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	3	2	1	2	2	2	3	1
Relación C/N Esperada	27	28	29	30	31	32	27	28	30	31	27	28	30	31	32	27	28	30	32

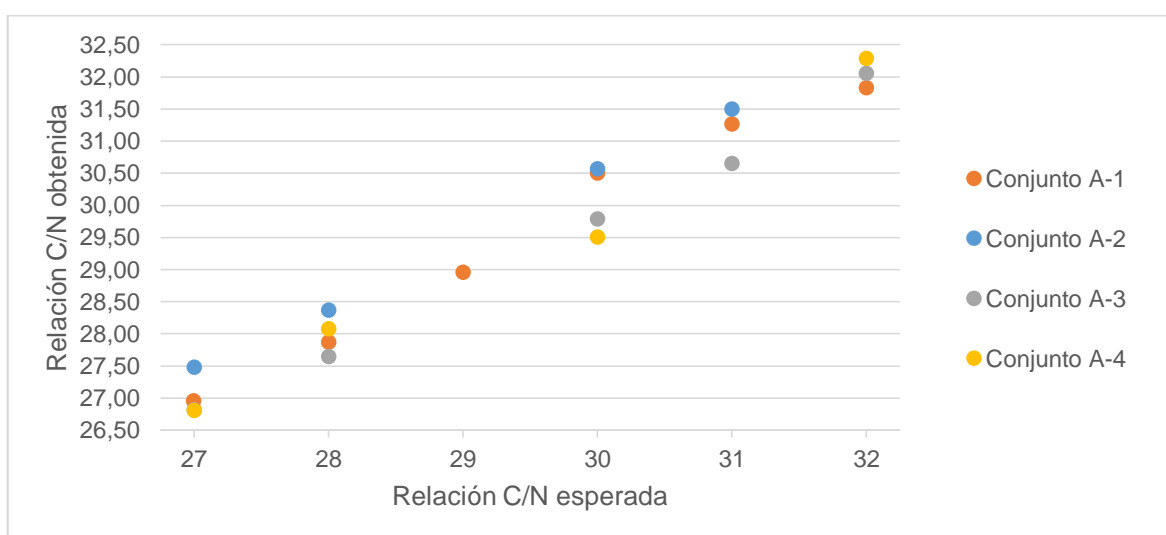


Figura 5. Valores de la relación C/N obtenidos con el modelo Richard y Trautmann a partir de las combinaciones de volúmenes del primer conjunto de datos de nivel internacional. Fuente: Elaboración Propia.

En las combinaciones obtenidas a partir de este conjunto de datos, se destaca que en la relación C/N esperada de valor 29 solo existe una combinación. Las dos veces que se corrieron los datos en la aplicación para el valor de 29, se obtuvo la misma e única combinación debido a que el programa solo estima combinaciones en números enteros. También se destaca la combinación de relación C/N esperada de 30 del conjunto A-2, la cual tuvo una relación C/N de 30,57. Debido a que supera el umbral de +0,5, esta combinación no se ajusta al modelo de Richard y Trautmann.

Tabla 9. Segundo conjunto de datos de nivel internacional para la validación de datos a través de la aplicación y cálculo de la ecuación de Richard y Trautmann.

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m3)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Fuente
Guano de vaca lechera	5	300,00	3,7	32,6	Peña et al. (2020)
Torta de filtro de caña de azúcar	52,3	400,00	0,5	12,2	Peña et al. (2020)
Cáscara de cacao	8	473,43	2,3	50,6	Rynk et al. (1992)
Cáscara de arroz	14	119,84	0,3	36,3	Rynk et al. (1992)
Guano de pollo	37	512,59	2,7	37,8	Rynk et al. (1992)

Tabla 10. Combinaciones de volúmenes (m3) de materiales para llegar a la relación C/N deseada, estimadas por la aplicación a partir del segundo conjunto de datos de nivel internacional.

Material	Conjunto B					
Guano de vaca lechera	1	1	1	1	1	1
Torta de filtro de caña de azúcar	1	1	1	1	1	1
Cáscara de cacao	1	1	1	1	1	1
Cáscara de arroz	12	13	15	16	17	18
Guano de pollo	1	1	1	1	1	1
Relación C/N Esperada	27	28	29	30	31	32

Para el segundo conjunto de datos solo se obtuvo una combinación para cada relación C/N esperada. Esto se debe a que solo un material del conjunto posee con una relación C/N mayor a los valores buscados, siendo el único que puede ser utilizado como co-sustrato corrector.

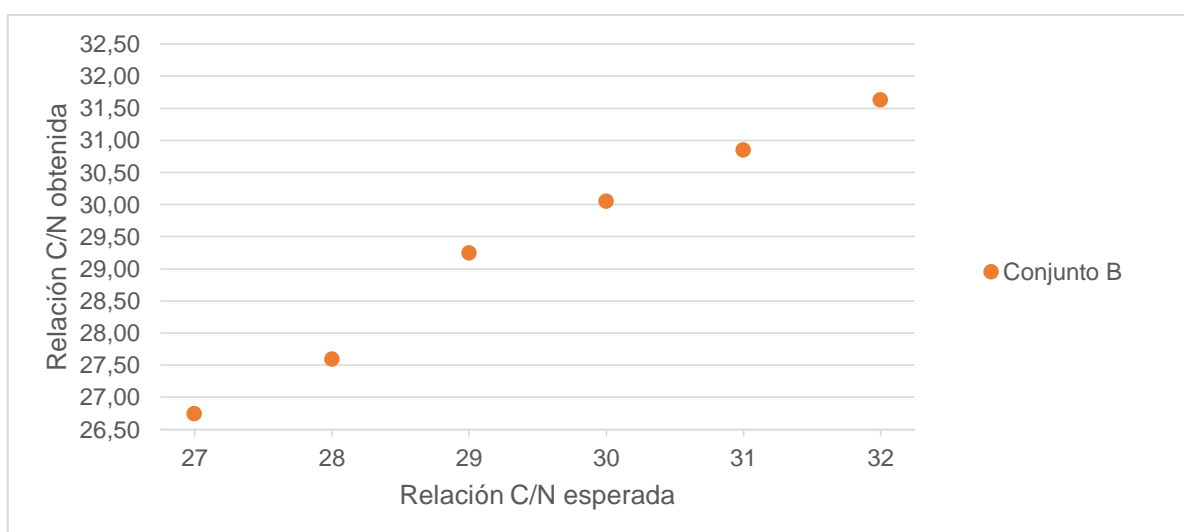


Figura 6. Valores de la relación C/N obtenidos con el modelo Richard y Trautmann a partir de las combinaciones de volúmenes del segundo conjunto de datos de nivel internacional. Fuente: Elaboración Propia.

Para el siguiente conjunto de datos de nivel Nacional (tabla 11), los materiales que presentan todos los datos necesarios están expresados con sus valores medios y desviaciones estándar. Se decidió utilizar el valor medio de cada dato para el cálculo de las combinaciones y relaciones C/N.

Tabla 11. Conjunto de datos de nivel nacional para la validación de datos a través de la aplicación y cálculo de la ecuación de Richard y Trautmann.

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Fuente
Aserrín	64,2	200	0,6	53,2	Leconte (2010)
Cascarilla de Arroz	5,4	100	0,4	42	Leconte (2010)
Guano de Ponedoras	72,5	996	6,9	37,5	Riera et al. (2014)
Cama de Equinos	42,9	200	1,2	35,2	Riera et al. (2014)

Tabla 12. Combinaciones de volúmenes (m³) de materiales para llegar a la relación C/N deseada, estimadas por la aplicación a partir del conjunto de datos de nivel nacional.

Material	Conjunto C-1						Conjunto C-2						Conjunto C-3					Conjunto C-4					
Aserrín	7	8	8	9	9	10	14	15	16	17	18	20	7	7	8	8	9	1	1	1	1	1	1
Cascarilla de Arroz	7	7	8	8	9	9	1	1	1	1	1	1	7	8	8	9	10	1	1	1	16	16	17
Guano de Ponedoras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Cama de Equinos	6	7	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	7	8	8	1	1	89	144	334	2	1	1
Relación C/N Esperada	27	28	29	30	31	32	27	28	29	30	31	32	27	28	29	30	32	27	28	29	30	31	32

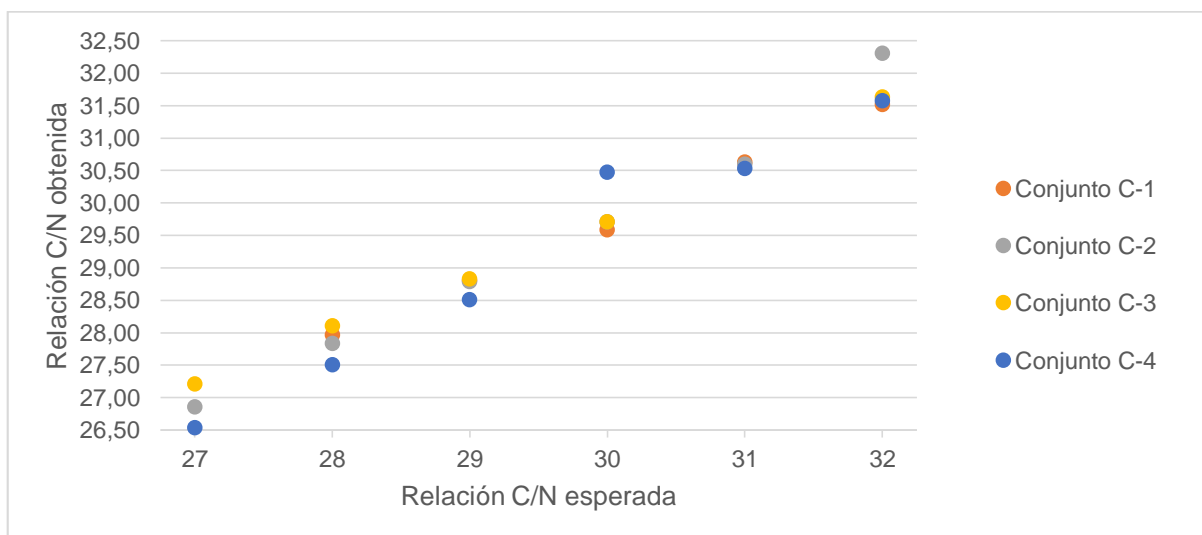


Figura 7. Valores de la relación C/N obtenidos con el modelo Richard y Trautmann a partir de las combinaciones de volúmenes del conjunto de datos de nivel nacional. Fuente: Elaboración Propia.

En el conjunto de datos a nivel Nacional, destaca la similitud entre el primer y tercer conjunto de combinaciones, y las combinaciones de relación C/N esperada de 27, 28 y 29 del cuarto conjunto de combinaciones. Las pequeñas diferencias entre el primer y tercer conjunto de combinaciones, se deben a la forma de priorizar el agregado de volúmenes por parte del programa, a partir del orden de ingreso de los materiales a la aplicación.

Las combinaciones del cuarto conjunto se componen de gran volumen del material “Guano de Caballo”, debido a que tiene una relación C/N muy cercana a 30. El material es poco efectivo para cambiar la relación cuando el programa prioriza aumentar sus volúmenes frente a otras opciones.

Tabla 13. Conjunto de datos de nivel provincial para la validación de datos a través de la aplicación y cálculo de la ecuación de Richard y Trautmann.

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Fuente
Hojas secas	10,3	14,2	0,78	40,95	Pasqualotto (2022)
Pasto seco	73,8	108,5	2,66	41,23	Pasqualotto (2022)
Guano Bovino	52,83	344,2	1,88	30,832	Pasqualotto (2022)
Orujo Agotado	50,6	190,7	1,96	51,156	Uliarte (2016)
Orujo Fresco	46,2	262,7	1,42	50,268	Uliarte (2016)
Borra (Enmienda)	32,3	421,3	2,84	35,5	Uliarte (2016)

Tabla 14. Combinaciones de volúmenes (m³) estimadas por la aplicación a partir del conjunto de datos de nivel provincial.

Material	Conjunto D-1						Conjunto D-2						Conjunto D-3						Conjunto D-4					
Hojas secas	8	10	12	14	18	23	53	61	71	80	91	103	7	9	11	13	17	22	1	1	1	1	1	1
Pasto seco	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Guano Bovino	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Orujo Agotado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Orujo Fresco	8	9	11	14	18	23	1	1	1	1	1	1	8	10	12	14	18	23	9	11	13	17	21	29
Borra (Enmienda)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Relación C/N Esperada	27	28	29	30	31	32	27	28	29	30	31	32	27	28	29	30	31	32	27	28	29	30	31	32

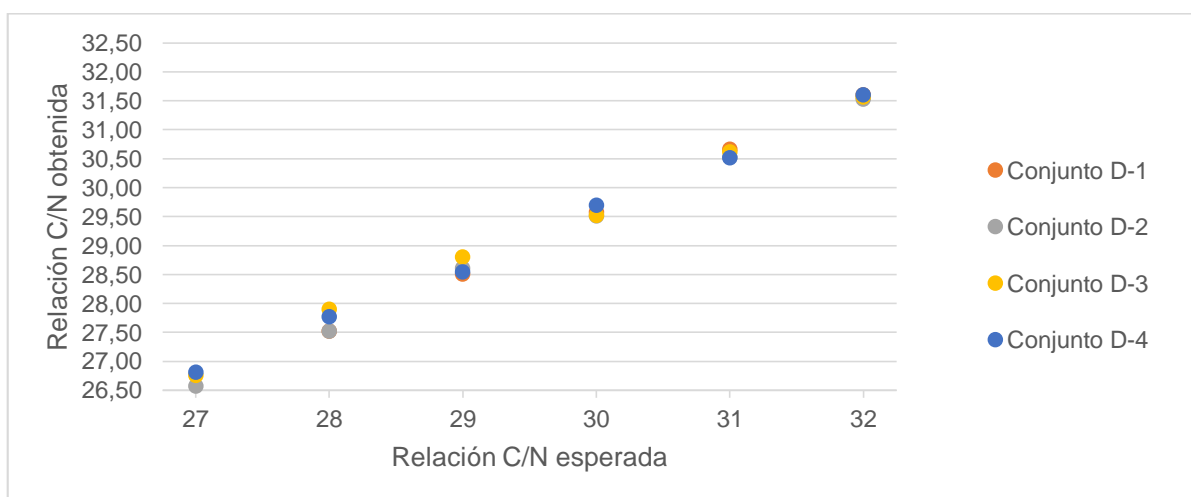


Figura 8. Valores de la relación C/N obtenidos con el modelo Richard y Trautmann a partir de las combinaciones de volúmenes del conjunto de datos de nivel provincial. Fuente: Elaboración Propia.

En el conjunto de datos a nivel provincial destaca el 2° conjunto de combinaciones, debido al gran volumen de “hojas secas” presente en las combinaciones. El material tiene muy poca densidad en comparación a los demás. Al priorizarse únicamente el aumento de “hojas secas” como co-sustrato, el programa se ve obligado a agregarlo en grandes cantidades para hacer un cambio significativo a la relación C/N de la mezcla. Cuando una combinación de materiales presente inconvenientes para construir un compost, el usuario puede elegir la combinación alternativa o probar combinaciones para otra relación C/N.

Otro aspecto a destacar en este conjunto de datos, son las similitudes entre el primer y tercer conjunto de combinaciones. La diferencia entre las combinaciones se debe a la forma de agregar volúmenes por parte del programa. El sistema siempre empieza aumentando los materiales que fueron seleccionados primeros. Es recomendable seleccionar primero los

materiales que se poseen en mayor abundancia, para favorecer la posibilidad de que sean los más voluminosos en las combinaciones generadas.

El cálculo de las relaciones a partir de las combinaciones de materiales, no presenta una gran variación con la relación C/N esperada para cada conjunto. También, puede comprobarse que las diferencias presentadas entre valor esperado y el valor obtenido no superan el $\pm 0,5$, excepto en un caso.

Para la validación de la capacidad del programa de calcular la relación C/N de forma directa, se seleccionó el experimento llevado a cabo por Uliarte (2016). En el experimento, se realizó un ensayo del comportamiento de diferentes pilas de compostaje, construidas a partir de los residuos de Derivados Vínicos S.A.. Para el compostaje, se utilizó tres subproductos generados por la empresa para comprobar cuatro tratamientos. En la tabla 15 puede observarse las características de los subproductos utilizados para el compostaje:

Tabla 15. Características de los materiales compostados en el convenio INTA- Derivados Vínicos S.A. Fuente: Uliarte (2016).

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N
Orujo Agotado	50,6	190,7	1,96	51,16	26,10
Orujo Fresco	46,2	262,7	1,42	50,27	35,40
Borra agotada	32,3	421,3	2,84	35,5	12,5

En el ensayo se propusieron 3 combinaciones, además de la mezcla habitual utilizada por Derivados Vínicos S.A. Se denominó "Mezcla DV" a la combinación utilizada por la empresa. La segunda mezcla fue denominada "Más C", por ser la de mayor residuo carbonado. La tercera mezcla se denominó "Menos C", por poseer menos residuos carbonados que "Mezcla DV" y "Más C". La cuarta se denominó "Orujo A", por estar compuesta únicamente por orujo agotado. En la siguiente tabla puede observarse la composición de las combinaciones propuestas (tabla 16):

Tabla 16. Combinaciones de materiales para compostaje. Fuente: Uliarte (2016).

Tratamientos	Orujo Fresco	Orujo Agotado	Borra agotada
Mezcla DV	6	1	3
Más C	8	1	1
Menos C	5	1	4
Orujo A	0	10	0

Las características de los materiales fueron cargados al programa, y fueron seleccionados para el cálculo de la relación C/N. A partir de las combinaciones observadas y las características de los materiales en las tablas, se realizó el cálculo de la relación C/N para las distintas mezclas. La relación de la mezcla "Orujo A" no fue calculada debido a que, al estar compuesta solo por un material, el único valor posible por parte de la aplicación es la relación C/N del material. En la figura 9 pueden observarse los valores obtenidos por la aplicación y los valores obtenidos por el experimento:

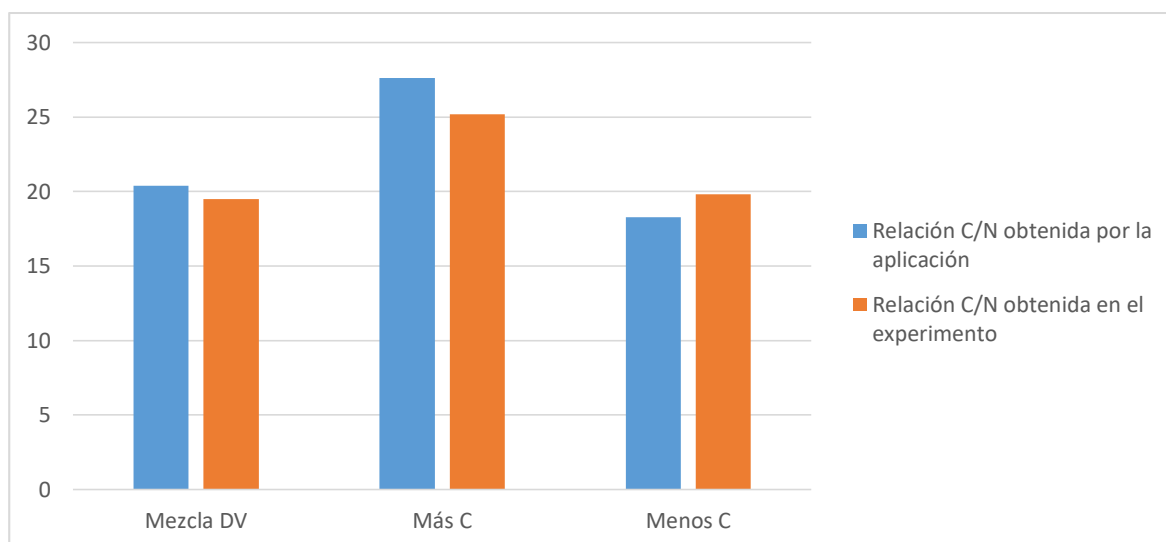


Figura 9. Relación C/N obtenida mediante experimentación y cálculo por aplicación. Fuente: Uliarte (2016) y Elaboración propia.

Como puede observarse en la figura, hay diferencia entre los valores obtenidos mediante cálculo por parte de la aplicación y los obtenidos mediante experimentación a campo. Destaca la diferencia en la pila “Más C”, la cual fue de 2,41. Mediante la experimentación y mediante el cálculo se puede observar que la única combinación dentro del rango ideal de la relación C/N es “Más C”. Sin considerar los demás factores que influyen el compostaje, la pila más eficiente para el compost es “Más C”, pero podría mejorarse su relación mediante el aumento de residuos carbonados. Mediante estimación por la aplicación, una relación 13:1:1 de materiales sería cercana a 30.

La diferencia entre las relaciones obtenidas en laboratorio y las relaciones calculadas se debe a una limitación del modelo de Richard y Trautmann. El modelo solo puede realizar el cálculo a partir de características de los materiales, valores que pueden diferir en la realidad.

Distribución de la aplicación en plataformas en línea

El programa se compartirá como software libre, donde el código fuente quedará disponible para cualquier persona que quiera acceder a este. El enlace para acceder al código fuente y las compilaciones de la aplicación es el siguiente:

Enlace a GitLab: <https://gitlab.com/compostapp/CompostAutoCalculator>.

Existe la posibilidad en un futuro de subir la versión de Android a la plataforma de descarga Google Play.

6. Conclusiones

La relación C/N de las combinaciones de materiales obtenidas mediante la estimación por parte de la aplicación, se acercan en gran medida a la relación C/N esperada. Al no presentar variaciones mayores a $\pm 0,5$ en la mayoría de los resultados, el programa se ajusta al modelo de Richard y Trautmann. La relación C/N de una mezcla calculados mediante el modelo, pueden presentar una variación con respecto a los valores obtenidos a campo. El amplio rango ideal de la relación C/N puede mitigar el impacto de las variaciones del cálculo respecto a campo.

Conocer la relación C/N puede ser una ventaja a la hora de llevar a cabo un proyecto de compostaje. Ante la dificultad del acceso continuo a un laboratorio, la alternativa consiste estimar el valor mediante un cálculo de la relación C/N. La asistencia en el cálculo por parte de programas informáticos permite comprobar distintas alternativas con las materias primas que hay disponibles, previendo si hay necesidad de adquirir nuevos materiales.

La diferencia de la aplicación con respecto a otras herramientas similares es que no necesita que el usuario aporte la cantidad de materiales para conocer la relación. El resultado otorga hasta dos alternativas de combinaciones de volúmenes de materiales que llegan a una relación C/N deseada, dando opción a elegir la más conveniente. La obtención de combinaciones puede funcionar como receta de volumen necesario de cada material para la construcción o agregado de materiales a un compost, que permita obtener una relación C/N dentro del rango ideal.

Debido a que las combinaciones de volúmenes otorgadas por la aplicación son adimensionales, la relación C/N se cumplirá mientras se mantenga la proporción entre los materiales. Queda a elección del usuario los volúmenes de materiales con los que se va a construir la pila de compostaje, ya sea en litros, metros cúbicos, etc. Se recomienda ingresar primero los materiales que se posean en mayor abundancia, con el fin de favorecer la generación de combinaciones donde sean los más voluminosos.

Los resultados pueden ser combinaciones donde un material presenta un volumen muy superior a los demás. Construir una pila con una diferencia tan grande de materiales sería un inconveniente, debido a que se busca tratar todos los materiales seleccionados y no solo uno. Ante una situación así, se espera que el volumen requerido del material sirva para disuadir al usuario a aprovechar otras alternativas que ofrece el programa.

Las características de los materiales varían en función del lugar y época donde se genera. La variación se produce debido a los hábitos, costumbres, actividades de la gente, clima y estaciones del lugar (Suárez, 2012). La información generada en una región podría no ser representativa para otras regiones. La posibilidad de incorporar datos propios es importante, ya que permite que la aplicación se adapte al usuario y también el ingreso de información por parte de nuevas fuentes.

Debido a que la aplicación utiliza el modelo de Richard y Trautmann, se necesitan varias características de los materiales para poder realizar el cálculo. La construcción de las bases de datos presenta la dificultad de encontrar fuentes con la totalidad de la información necesaria. Las publicaciones científicas no siempre cuentan con el contenido de humedad y la densidad aparente de los materiales, pero existe la posibilidad de estimar su valor a campo. De faltar un dato como el Carbono orgánico total, Nitrógeno total o la relación C/N, puede calcularse a partir de los otros dos.

La aplicación se ve limitada al trabajar con un solo aspecto de todos los que influyen en el compostaje. Puede ser una ayuda para quien realice el compostaje, pero no se debe descuidar los demás parámetros, como la temperatura, aireación, humedad, pH y microflora.

Al tratarse de un programa de código libre, existe la posibilidad de expansión de su función o pasar a formar parte del código de otras aplicaciones que trabajen con el compostaje. Algunas funciones que podrían complementar la actividad de este programa son: un dimensionador de las pilas de compostaje; el seguimiento del contenido de humedad de la mezcla; un registro de temperaturas o pH durante el compostaje; indicaciones acerca de la degradabilidad, indicaciones sobre el aporte de microflora que poseen los materiales; etc. Se espera que la aplicación esté al alcance de personas interesadas en el compostaje, ya sea para una finalidad productiva o ecológica.

7. Bibliografía

- Agencia de Residuos de Cataluña (ARC). (2016). *Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje*. Cataluña, España: Agencia de Residuos de Cataluña.
- Albornoz, M. C., Berón, M., & Montejano, G. (2017). Interfaz Gráfica de Usuario: el Usuario como Protagonista del Diseño. *XIX Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación*, 570-574.

- Bohórquez Santana, W. (2019). *El proceso de compostaje (Nº1)*. Bogotá: Universidad de la Salle.
- Cornell Waste Management Institute. (1996). *Calculate C/N Ratio For Three Materials*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2022, de Cornell Waste Management Institute: <http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>.
- Funes Pinter, I. M., Fernandez, A. S., Martinez, L. E., Aguado, G., & Uliarte, E. M. (2018). Compostaje de orujo de uva y guano caprino para la producción de plantines de lechuga. *II Simposio de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales del NOA y Cuyo*. San Juan.
- Garrido, G., Silvert, V., Paradi, C., & Suárez, M. F. (2015). *Manual para Municipios y Comunas: Compostaje domiciliario. Una oportunidad para convertir los residuos de los hogares en abono orgánico, un mejorador de suelo, útil para las plantas*. Córdoba, Córdoba, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). doi:631.879.1/G241
- Gómez, J. B. (2012). *Análisis y diseño de algoritmos*. Tlalneptla: Red Tercer Milenio.
- González Provost, P. J., Jáuregui Arana, J., Ortiz Rodríguez, M. J., & Aguirre Jiménez, I. (2017). Calculadora de Plantas de Compostaje en Pilas Dinámicas. *V Jornadas de la Red Española de Compostaje, Sevilla: Red Española de Compostaje*, 34-38.
- Herrera, A. C., Palavecino, A. C., & Sánchez de Pinto, M. I. (2018). Compostaje de estiércol de conejo con cama de gallina ponedora. *II Simposio de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales del NOA y Cuyo* (págs. 105-109). San Juan: INTA Ediciones.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). (2020). *Acceso y uso de tecnologías de la información y la comunicación. EPH*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Módulo de Acceso y Uso de Tecnologías de la Información y la Comunicación (MAUTIC).
- Leconte, M. C. (2010). *Efecto del agregado de estiércol de gallina en el compostaje de aserrín y cascarilla de arroz*. Corrientes, Corrientes, Argentina: Universidad Nacional del Nordeste. Obtenido de <http://repositorio.unne.edu.ar/handle/123456789/461>
- Martínez, L. E., Rizzo, P. F., Riera, N. I., Beily, M. E., & Young, B. J. (2021). *Compendio de métodos analíticos para la caracterización de residuos, compost y efluentes de origen agropecuario y agroindustrial*. Ediciones INTA. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12123/10587>
- Mazzarino, M. J., & Satti, P. (2012). *Compostaje en Argentina. Experiencias de producción, calidad y uso*. Buenos Aires: Orientación Gráfica Editora.
- Mazzeo, N. M. (2012). *Manual para la sensibilización comunitaria y educación ambiental: gestión integral de residuos sólidos urbanos*. San Martín: INTI.
- Moises, J., Matínez, J. M., & Galantini, J. A. (2018). Caracterización de residuos biotransformados y efectos de diferentes estrategias de aplicación. *II Simposio de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales del NOA y Cuyo* (págs. 145-149). San Juan: INTA Ediciones. Obtenido de <https://inta.gob.ar/documentos/ii-simposio-de>

residuos-agropecuarios-y-agroindustriales-del-noa-y-cuyo-%E2%80%93trabajos-completos-y-comunicaciones

- Moschione, E., Menna, M., Ronco, A., Gonzalez, F., Saubidet, A., Ricci, F., . . . Katz, C. (2010). Estudio y Evaluación del Compostaje de la Fracción Orgánico de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) en el Marco de la Gestión Integral de los Residuos. Obtenido de <https://asacomp.com.ar/wp-content/uploads/2021/12/Compostaje-de-FORSU.pdf>
- Negro, M. J., Villa, F., Aibar, J., Aracón, R., Ciria, P., Cristóbal, M. V., . . . Zaragoza, C. (2000). Producción y gestión del compost.
- Orden, L. (2010). *Evaluación del proceso de compostaje de residuos sólidos orgánicos. Respuesta agronómica de su utilización en un cultivo de cebolla (Allium cepa L.)*. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina: Universidad Nacional del Sur. Obtenido de <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/handle/123456789/4469>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Objetivos del Desarrollo Sostenible. Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. Recuperado el 19 de Diciembre de 2022, de Objetivos del Desarrollo Sostenible. Objetivo 12: Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>
- Pasqualotto, N. (2022). Caracterización y Aprovechamiento de Residuos Orgánicos de Bodega: Compostaje y Obtención de Enmienda para uso Agrícola. *Tesis de Grado: Ingeniería en Recursos Naturales Renovables*.
- Peña, H., Mendoza, H., Diáñez, F., & Santos, M. (14 de 10 de 2020). Parameter Selection for the Evaluation of Compost Quality. *Agronomy*, 1567. doi:10.3390/agronomy10101567
- Richard, T., & Trautmann, N. (1996). *C/N ratio*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2022, de Cornell Waste Management Institute: http://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html
- Riera, N. I., Della Torre, V., Rizzo, P. F., Butti, M., Bressan, F. M., Zarate, N., . . . Crespo, D. E. (2014). Evaluación del proceso de compostaje de dos mezclas de residuos avícolas. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias . UNCUYO*(46 (1)), 195-203. Obtenido de https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/6455/cp14-riera.pdf
- Rivera, J. R., & Agredo España, D. (2020). *Mierda a la Carta. Un nuevo ABC de la agricultura orgánica*. Cali, Colombia.
- Román, P., Martínez, M. M., & Pantoja, A. (2013). Manual de Compostaje del Agricultor: Experiencias en América Latina. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (F.A.O)*.
- Ruggieri, L., Gea, T., Artola, A., & Sánchez, A. (2008). Influence of different co-substrates biochemical composition on raw sludge co-composting. *Biodegradation*(19), 403-415. doi:10.1007/s10532-007-9146-2
- Rynk, R., van de Kamp, M., Willson, G. B., Singley, M. E., Richard, T. L., Kolega, J. J., . . . Brinton, W. F. (1992). *On-Farm Composting Handbook*. Ithaca, New York: Plant and Life Sciences Publishing (PALS) Cooperative Extension.

- Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental; Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. (07 de 01 de 2019). *Resolución Conjunta 1/2019. Marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost*. República Argentina: InfoLeg. Obtenido de <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/315000-319999/318692/norma.htm>
- Suárez, M. F. (2012). Evaluación del compostaje domiciliario como modelo de gestión de los residuos orgánicos. Caso de estudio: Comuna Villa La Serranita. *Tesis de Maestría, Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Córdoba*.
- U.S. Department of Agriculture (USDA). (2011). Carbon to Nitrogen Ratios in Cropping Systems. Obtenido de soils.usda.gov/sqi
- Uliarte, E. M. (2016). *Convenio INTA-Derivados Vínicos: "Dinámica del compostaje de diferentes subproductos de la industria de derivados vínicos"*. doi:10.13140/RG.2.2.34098.45760
- Universidad Miguel Hernández. (2019). Compost Calculator. Elche, Alicante, Valencia, España. Obtenido de <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.umh.compostumh>
- Washinton State University. (s.f.). Compost Mixture Calculator. Washington, Washington, U.S.A. Recuperado el 28 de Noviembre de 2022, de Organic Farming Systems and Nutrient Management: <https://puyallup.wsu.edu/soils/compost-mix-calculator/>

ANEXO I

Datos obtenidos por bibliografía

- Nivel Internacional

Tabla 16. Compilación de Datos a Nivel Internacional (parte 1)

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m3)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
paja de centeno					82	USDA (2011)
paja de trigo					80	USDA (2011)
paja de avena					70	USDA (2011)
rastrojo de maíz					57	USDA (2011)
cultivo de cobertura de centeno (antes)					37	USDA (2011)
paja de guisantes					29	USDA (2011)
cultivo de cobertura de centeno (vegetativo)					26	USDA (2011)
heno de alfalfa maduro					25	USDA (2011)
estiércol de corral podrido					20	USDA (2011)
heno de leguminosas					17	USDA (2011)
estiércol de ganado bovino					17	USDA (2011)
heno joven de alfalfa					13	USDA (2011)
cultivo de cobertura arveja peluda					11	USDA (2011)
Acacia Negra			1,4	53,2	38	Rivera, Agredo (2020)
Aserrín de Madera			0,06	51,9	865	Rivera, Agredo (2020)
Cascarilla de Arroz			0,78	30,42	39	Rivera, Agredo (2020)
Paja de Arroz			0,78	30,42	39	Rivera, Agredo (2020)
Cascarilla de Avena			0,75	47,25	63	Rivera, Agredo (2020)
Paja de Avena			0,66	47,52	72	Rivera, Agredo (2020)
Cascarilla de Algodón			1,06	53	50	Rivera, Agredo (2020)

Tabla 17. Compilación de Datos a Nivel Internacional (parte 2)

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m3)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
Tallos de Banano			0,77	46,97	61	Rivera, Agredo (2020)
Bagazo de Caña			1,07	39,59	37	Rivera, Agredo (2020)
Cápsula de Cacao			1,28	48,64	38	Rivera, Agredo (2020)
Pulpa de Café			0,86	30,04	34,93	Rivera, Agredo (2020)
Cisco de Café			0,62	51,73	83,44	Rivera, Agredo (2020)
Cascara de Castaña			0,74	54,76	74	Rivera, Agredo (2020)
Cascarilla de Centeno			0,68	46,92	69	Rivera, Agredo (2020)
Paja de Centeno			0,47	47	100	Rivera, Agredo (2020)
Cascarilla de Cebada			0,56	47,6	85	Rivera, Agredo (2020)
Paja de Cebada			0,75	47,25	63	Rivera, Agredo (2020)
Estiércol de Oveja			1,44	46,08	32	Rivera, Agredo (2020)
Estiércol Bovino			1,67	53,44	32	Rivera, Agredo (2020)
Pajas de Frijol			1,63	52,16	32	Rivera, Agredo (2020)
Helecho marranero			0,49	53,41	109	Rivera, Agredo (2020)
Cápsulas de Higuera			1,18	62,64	53,08	Rivera, Agredo (2020)
Pajas de Maíz			0,48	53,76	112	Rivera, Agredo (2020)
Olotes de Maíz (Raquis)			0,52	52,52	101	Rivera, Agredo (2020)
Pasto Gordura			0,63	51,03	81	Rivera, Agredo (2020)
Pasto Guinea			1,49	49,17	33	Rivera, Agredo (2020)
Pasto Jaragua			0,79	50,56	64	Rivera, Agredo (2020)
Pasto Cidrón			0,82	58,84	71,76	Rivera, Agredo (2020)
Pasto Millón			1,4	50,4	36	Rivera, Agredo (2020)
Pasto mimoso			0,66	52,14	79	Rivera, Agredo (2020)
Pasto paspalum			1,17	47,97	41	Rivera, Agredo (2020)

Tabla 18. Compilación de Datos a Nivel Internacional (parte 3)

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
Fibra de Ananá (Piña)			0,9	39,6	44	Rivera, Agredo (2020)
Cascarilla de Trigo			0,85	47,6	56	Rivera, Agredo (2020)
Paja de Trigo			0,73	51,1	70	Rivera, Agredo (2020)
Raíces de Yuca			0,34	32,64	96	Rivera, Agredo (2020)
Ramas de Yuca			1,31	52,4	40	Rivera, Agredo (2020)
Cáscaras de Yuca			0,5	53,5	107	Rivera, Agredo (2020)
Semillas de Algodón			4,58	54,96	12	Rivera, Agredo (2020)
Aserrín Verde			0,96	16,32	17	Rivera, Agredo (2020)
Hojas de 7 Amora			3,77	45,24	12	Rivera, Agredo (2020)
Hojas de 8 Banano			2,58	49,02	19	Rivera, Agredo (2020)
Afrecho de Café			2,3	50,6	22	Rivera, Agredo (2020)
Cápsula de Cacao			3,24	51,84	16	Rivera, Agredo (2020)
Semillas de Café			3,27	52,32	16	Rivera, Agredo (2020)
Ramos de Cuasia			3,4	52,35	15,40	Rivera, Agredo (2020)
Crotalaria juncea			1,95	50,7	26	Rivera, Agredo (2020)
Bagazo de Cebada			5,13	51,3	10	Rivera, Agredo (2020)
Cuero en Polvo			8,74	43,75	5,01	Rivera, Agredo (2020)
Estiércol de Cerdos			1,86	29,5	15,86	Rivera, Agredo (2020)
Estiércol de Aves			2,76	29,01	10,51	Rivera, Agredo (2020)
Estiércol de Equinos			1,67	25,5	15,27	Rivera, Agredo (2020)
Frijol canabalia			2,55	48,45	19	Rivera, Agredo (2020)
Pajas de Guandul			1,81	52,49	29	Rivera, Agredo (2020)
Semillas de Guandul			3,64	54,6	15	Rivera, Agredo (2020)
Hojas de Guamos			2,11	50,64	24	Rivera, Agredo (2020)
Lab lab			4,56	50,16	11	Rivera, Agredo (2020)
Ramas de Mucuna negra			2,24	49,28	22	Rivera, Agredo (2020)

Tabla 19. Compilación de Datos a Nivel Internacional (parte 4)

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m3)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
Bagazo de Naranja			0,71	12,78	18	Rivera, Agredo (2020)
Plumas			13,55	54,2	4	Rivera, Agredo (2020)
Residuos de Ramio			3,2	35,26	11,02	Rivera, Agredo (2020)
Residuos de Cerveza			4,42	53,04	12	Rivera, Agredo (2020)
Sangre Seca			11,8	47,2	4	Rivera, Agredo (2020)
Residuos de Tabaco			2,17	39,06	18	Rivera, Agredo (2020)
Torta de Algodón			5,68	51,12	9	Rivera, Agredo (2020)
Torta de Maní			7,65	53,55	7	Rivera, Agredo (2020)
Torta de Linaza			5,66	50,94	9	Rivera, Agredo (2020)
Torta de Higuera			5,44	54,4	10	Rivera, Agredo (2020)
Torta de Soja (Soya)			6,56	45,92	7	Rivera, Agredo (2020)
Ramas y Hojas de Yuca			4,35	52,2	12	Rivera, Agredo (2020)
Purines frescos					5	Román et al. (2013)
Estiércol vacuno					25	Román et al. (2013)
Hierba recién cortada					43	Román et al. (2013)
Gallinaza pura					7	Román et al. (2013)
Hojas de frijol					27	Román et al. (2013)
Hojas de árbol					47	Román et al. (2013)
Estiércol porcino					10	Román et al. (2013)
Crotalaria					27	Román et al. (2013)
Paja de caña de azúcar					49	Román et al. (2013)
Desperdicios de cocina					14	Román et al. (2013)
Pulpa de café					29	Román et al. (2013)
Basura urbana fresca					61	Román et al. (2013)
Gallinaza camada					18	Román et al. (2013)
Estiércol ovino/caprino					32	Román et al. (2013)
Cascarilla de arroz					66	Román et al. (2013)
Hojas de plátano					32	Román et al. (2013)
Paja de arroz					77	Román et al. (2013)
Restos de hortalizas					37	Román et al. (2013)

Tabla 20. Compilación de Datos a Nivel Internacional (parte 5)

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
Hierba seca (gramíneas)					81	Román et al. (2013)
Hojas de café					38	Román et al. (2013)
Bagazo de caña de azúcar					104	Román et al. (2013)
Restos de poda					44	Román et al. (2013)
Mazorca de maíz					117	Román et al. (2013)
Paja de maíz					312	Román et al. (2013)
Aserrín					638	Román et al. (2013)
Alpeorajo	65	890	1,3	57,2	44	González Provost et al. (2017)
Hojín	40	300	1,4	50,5	36,07	González Provost et al. (2017)
Paja	12	100	0,7	56	80	González Provost et al. (2017)
Estiércol de ovino	38,5	400	1,7	22,6	13,29	González Provost et al. (2017)
Estiércol de vacuno	45	700	2,3	28,1	12,22	González Provost et al. (2017)
Gallinaza	20,1	400	3,2	40	12,5	González Provost et al. (2017)
Desechos de procesamiento de Fruta	80,3	800	1,9	55,2	29,05	Peña et al. (2020)
Lodo de procesamiento de papa	77	900	1,8	48,3	26,83	Peña et al. (2020)
Escombros de procesado de papa y maíz	75,1	800	0,9	57,2	63,56	Peña et al. (2020)
Cascara de arroz	2	100	0,4	46,5	116,25	Peña et al. (2020)
Aserrín	54,1	100	0,7	56,4	80,57	Peña et al. (2020)
Guano de vaca lechera	5	300	3,7	32,6	8,81	Peña et al. (2020)
Torta de filtro de caña de azúcar	52,3	400	0,5	12,2	24,40	Peña et al. (2020)
Torta de filtro de manzana	60	710,15	1,2	15,6	13	Rynk et al. (1992)
Pulpa de manzana	88	924,92	1,1	52,8	48	Rynk et al. (1992)
Lodos de procesamiento de manzanas	59	837,11	2,8	19,6	7	Rynk et al. (1992)
Cáscara de cacao	8	473,43	2,3	50,6	22	Rynk et al. (1992)
Mazorca de maíz	15	330,45	0,6	58,8	98	Rynk et al. (1992)
Harina de semilla de algodón			7,7	53,9	7	Rynk et al. (1992)
Torta de filtro de arándano	50	605,73	2,8	86,8	31	Rynk et al. (1992)
Torta de filtro de arándano con cáscara de arroz	71	770,07	1,2	50,4	42	Rynk et al. (1992)

Tabla 21. Compilación de Datos a Nivel Internacional (parte 6)

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
Planta de Arándano (tallo, hojas)	61		0,9	54,9	61	Rynk et al. (1992)
Desechos de frutas	80		1,4	56	40	Rynk et al. (1992)
Tapas de papa			1,5	37,5	25	Rynk et al. (1992)
Cáscara de arroz	14	119,84	0,3	36,3	121	Rynk et al. (1992)
Residuos del procesamiento de tomates	62		4,5	49,5	11	Rynk et al. (1992)
Productos vegetales	87	940,34	2,7	51,3	19	Rynk et al. (1992)
Desperdicios de cangrejo y langosta	47	142,39	6,1	29,89	4,9	Rynk et al. (1992)
Migas de empanizado de pescado	10		2	56	28	Rynk et al. (1992)
Lodos de procesamiento de pescado	94		6,8	35,36	5,2	Rynk et al. (1992)
Residuos de pescado	76		10,6	38,16	3,6	Rynk et al. (1992)
Desechos de mejillones	63		3,6	7,92	2,2	Rynk et al. (1992)
Cadáveres de aves de corral	65		2,4	12	5	Rynk et al. (1992)
Desechos de camarones	78		9,5	32,3	3,4	Rynk et al. (1992)
Guano de pollo	37	512,59	2,7	37,8	14	Rynk et al. (1992)
Guano de vaca	81	865,00	2,4	45,6	19	Rynk et al. (1992)
Guano de ganado lechero fijo	79		2,7	48,6	18	Rynk et al. (1992)
Guano de ganado lechero libre	83		3,7	48,1	13	Rynk et al. (1992)
Guano de caballo	72	818,13	1,6	48	30	Rynk et al. (1992)
Guano de caballo de carrera	63		1,2	49,2	41	Rynk et al. (1992)
Guano de gallinas ponedoras	69	877,46	8	48	6	Rynk et al. (1992)
Guano de oveja	69		2,7	43,2	16	Rynk et al. (1992)
Guano de cerdo	80		3,1	43,4	14	Rynk et al. (1992)
Guano de pavo	26	464,54	2,6	41,6	16	Rynk et al. (1992)

Tabla 22. Compilación de Datos a Nivel Internacional (parte 7)

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
Residuos farmacéuticos			2,6	49,4	19	Rynk et al. (1992)
Lodo activado			5,6	33,6	6	Rynk et al. (1992)
Lodo digerido			1,9	30,4	16	Rynk et al. (1992)
Heno (leguminosa)			2,5	40	16	Rynk et al. (1992)
Heno (no leguminosa)			1,3	41,6	32	Rynk et al. (1992)
Paja (general)	12	134,67	0,7	56	80	Rynk et al. (1992)
Paja (avena)			0,9	54	60	Rynk et al. (1992)
Paja (trigo)			0,4	50,8	127	Rynk et al. (1992)
Corteza de madera dura			0,241	53,743	223	Rynk et al. (1992)
Corteza de madera blanda			0,14	69,44	496	Rynk et al. (1992)
Cartón corrugado	8	153,66	0,1	56,3	563	Rynk et al. (1992)
Residuos de aserradero			0,13	22,1	170	Rynk et al. (1992)
Lodos de fábrica de papel	81		0,56	30,24	54	Rynk et al. (1992)
Pasta de papel	82	832,37	0,59	53,1	90	Rynk et al. (1992)
Aserrín	39	243,24	0,24	106,08	442	Rynk et al. (1992)
Guías telefónicas	6	148,32	0,7	540,4	772	Rynk et al. (1992)
Maderas duras (astillas, restos, etc.)			0,09	50,4	560	Rynk et al. (1992)
Maderas blandas (astillas, restos, etc.)			0,09	57,69	641	Rynk et al. (1992)
Recortes de césped	82		3,4	57,8	17	Rynk et al. (1992)
Hojas	38		0,9	48,6	54	Rynk et al. (1992)
Algas marinas	53		1,9	32,3	17	Rynk et al. (1992)
Poda de arbustos	15	254,52	1	53	53	Rynk et al. (1992)
Poda de árboles	70	768,89	3,1	49,6	16	Rynk et al. (1992)
Restos hortícolas	85,4 ± 2,7		7,7 ± 0,9		4,9 ± 1,1	Ruggieri et al. (2008)

- **Nivel Nacional**

Tabla 23. *Compilación de Datos a Nivel Nacional*

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m ³)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
Aserrín	64,2 ± 3,8	200 ± 40	0,6 ± 0,1	53,2 ± 0,5	106,0 ± 3,0	Leconte (2010)
Cascarilla de Arroz	5,4 ± 0,6	100 ± 20	0,4 ± 0,1	42,0 ± 0,8	109,0 ± 9	Leconte (2010)
Estiércol de Gallina	38,2 ± 2,6	400 ± 30	3,7 ± 0,3	30,2 ± 2,4	9 ± 0,6	Leconte (2010)
Restos de Cebolla *	30,7		0,59	32,28	54,71	Orden (2018)
* 80% Catáfilas de protección y 20% bulbos de descarte						
Rastrojo de avena	22,6		1,53	39,34	25,71	Orden (2018)
Estiércol bobino	59,8		2,14	24,29	11,35	Orden (2018)
Estiércol de Conejo			2,6	45,2	17,38	Herrera et al. (2018)
Cama de Gallina Ponedora			3,9	44,5	11,41	Herrera et al. (2018)
cáscara de girasol biotransformada con hongo Pleurotus ostreatus			9,05	569,62	62,94	Moisés et al. (2018)
alperujo sin biotransformar			10,10	659,80	65,33	Moisés et al. (2018)
residuos sólidos urbanos biotransformados por la acción de lombrices californianas y compostaje			18,14	185,80	10,24	Moisés et al. (2018)
Guano de Ponedoras	72,5 ± 0,2	996 ± 41	6,9 ± 1,6	37,5 ± 1,6	5,43	Riera et al. (2014)
Cama de Parrilleros	27,6 ± 0,1	215 ± 6	2,2 ± 0,9	40,2 ± 0,9	18,27	Riera et al. (2014)
Cama de Equinos	42,9 ± 0,1	200 ± 6,8	1,2 ± 0,1	35,2 ± 0,1	29,33	Riera et al. (2014)
Aserrín	11,5 ± 0,1	265 ± 12,2	2,1 ± 0,1	49,5 ± 0,1	23,57	Riera et al. (2014)

- **Nivel Provincial**

Tabla 24. *Compilación de Datos a Nivel Provincial*

Material	Humedad (%)	Densidad Aparente (kg/m3)	Nitrógeno (%)	Carbono (%)	Relación C/N	Fuente
Orujo fresco y escobajo	44,67	193,8	1,64	52,86	32,23	Pasqualotto (2022)
Hojas secas	10,3	14,2	0,78	40,95	52,5	Pasqualotto (2022)
Pasto seco	73,8	108,5	2,66	41,23	15,5	Pasqualotto (2022)
Guano Bovino	52,83	344,2	1,88	30,83	16,4	Pasqualotto (2022)
Orujo Agotado	50,6	190,7	1,96	51,16	26,1	Uliarte (2016)
Orujo Fresco	46,2	262,7	1,42	50,27	35,4	Uliarte (2016)
Borra (Enmienda)	32,3	421,3	2,84	35,50	12,5	Uliarte (2016)

ANEXO II

Ecuaciones de comprobación

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{\text{Volumen}_1 \times \text{Densidad}_1 \times \text{Carbono}_1 \times (100 - \text{Humedad}_1) + \dots + \text{Volumen}_n \times \text{Densidad}_n \times \text{Carbono}_n \times (100 - \text{Humedad}_n)}{\text{Volumen}_1 \times \text{Densidad}_1 \times \text{Nitrógeno}_1 \times (100 - \text{Humedad}_1) + \dots + \text{Volumen}_n \times \text{Densidad}_n \times \text{Nitrógeno}_n \times (100 - \text{Humedad}_n)}$$

Ecuación 3. Ejemplo de aplicación de la ecuación de Richard y Trauttman (Ecuación 1).

1° Conjunto de datos

- Combinaciones Relación C/N esperada de 27:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{2 \times 800 \times 55,2 \times (100 - 80,3) + 3 \times 900 \times 48,3 \times (100 - 77) + 2 \times 800 \times 57,2 \times (100 - 75,1) + 2 \times 100 \times 46,5 \times (100 - 2) + 2 \times 818,127604 \times 48 \times (100 - 72) + 3 \times 768,885696 \times 49,6 \times (100 - 70)}{2 \times 800 \times 1,9 \times (100 - 80,3) + 3 \times 900 \times 1,8 \times (100 - 77) + 2 \times 800 \times 0,9 \times (100 - 75,1) + 2 \times 100 \times 0,4 \times (100 - 2) + 2 \times 818,127604 \times 1,6 \times (100 - 72) + 3 \times 768,885696 \times 3,1 \times (100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1739904 + 2999430 + 2278848 + 911400 + 2199126,999552 + 3432305,746944}{59888 + 111780 + 35856 + 7840 + 73304,2333184 + 214519,109184}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{13561014,75}{503187,3425}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 26,95$$

Ecuación 4. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 27 del primer conjunto de datos a nivel

$$\begin{aligned} & \text{Relación } \frac{C}{N} \\ &= \frac{1x800x55,2x(100 - 80,3) + 13x900x48,3x(100 - 77) + 1x800x57,2x(100 - 75,1) + 1x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 1x768,885696x49,6x(100 - 70)}{1x800x1,9x(100 - 80,3) + 13x900x1,8x(100 - 77) + 1x800x0,9x(100 - 75,1) + 1x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 1x768,885696x3,1x(100 - 70)} \end{aligned}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{869952 + 12997530 + 1139424 + 455700 + 1099563,499776 + 1144101,915648}{29944 + 484380 + 17928 + 3920 + 36652,1166592 + 71506,369728}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{17706271,42}{644330,4864}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,48$$

Ecuación 5. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 27 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

$$\begin{aligned} & \text{Relación } \frac{C}{N} \\ &= \frac{1x800x55,2x(100 - 80,3) + 2x900x48,3x(100 - 77) + 1x800x57,2x(100 - 75,1) + 2x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 2x768,885696x49,6x(100 - 70)}{1x800x1,9x(100 - 80,3) + 2x900x1,8x(100 - 77) + 1x800x0,9x(100 - 75,1) + 2x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 2x768,885696x3,1x(100 - 70)} \end{aligned}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{869952 + 1999620 + 1139424 + 911400 + 1099563,499776 + 2288203,831296}{29944 + 74520 + 17928 + 7840 + 36652,1166592 + 143012,739456}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8308163,331}{309896,8561}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 26,81$$

Ecuación 6. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N esperada de 27 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

$$\begin{aligned} & \text{Relación } \frac{C}{N} \\ &= \frac{1x800x55,2x(100 - 80,3) + 2x900x48,3x(100 - 77) + 1x800x57,2x(100 - 75,1) + 2x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 2x768,885696x49,6x(100 - 70)}{1x800x1,9x(100 - 80,3) + 2x900x1,8x(100 - 77) + 1x800x0,9x(100 - 75,1) + 2x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 2x768,885696x3,1x(100 - 70)} \end{aligned}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{869952 + 1999620 + 1139424 + 911400 + 1099563,499776 + 2288203,831296}{29944 + 74520 + 17928 + 7840 + 36652,1166592 + 143012,739456}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8308163,331}{309896,8561}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 26,81$$

Ecuación 7. Comprobación del cálculo para la cuarta combinación de relación C/N esperada de 27 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 28:

$$\begin{aligned} & \text{Relación } \frac{C}{N} \\ &= \frac{2x800x55,2x(100 - 80,3) + 2x900x48,3x(100 - 77) + 2x800x57,2x(100 - 75,1) + 1x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 2x768,885696x49,6x(100 - 70)}{2x800x1,9x(100 - 80,3) + 2x900x1,8x(100 - 77) + 2x800x0,9x(100 - 75,1) + 1x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 2x768,885696x3,1x(100 - 70)} \end{aligned}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1739904 + 1999620 + 2278848 + 455700 + 1099563,499776 + 2288203,831296}{59888 + 74520 + 35856 + 3920 + 36652,1166592 + 143012,739456}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{9861839,331}{353848,8561}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,87$$

Ecuación 8. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 28 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1 \times 800 \times 55,2 \times (100 - 80,3) + 3 \times 900 \times 48,3 \times (100 - 77) + 1 \times 800 \times 57,2 \times (100 - 75,1) + 1 \times 100 \times 46,5 \times (100 - 2) + 1 \times 818,127604 \times 48 \times (100 - 72) + 1 \times 768,885696 \times 49,6 \times (100 - 70)}{1 \times 800 \times 1,9 \times (100 - 80,3) + 3 \times 900 \times 1,8 \times (100 - 77) + 1 \times 800 \times 0,9 \times (100 - 75,1) + 1 \times 100 \times 0,4 \times (100 - 2) + 1 \times 818,127604 \times 1,6 \times (100 - 72) + 1 \times 768,885696 \times 3,1 \times (100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{869952 + 2999430 + 1139424 + 455700 + 1099563,499776 + 1144101,915648}{29944 + 111780 + 17928 + 3920 + 36652,1166592 + 71506,369728}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7708171,415}{271730,4864}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 28,37$$

Ecuación 9. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 28 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{2 \times 800 \times 55,2 \times (100 - 80,3) + 3 \times 900 \times 48,3 \times (100 - 77) + 2 \times 800 \times 57,2 \times (100 - 75,1) + 3 \times 100 \times 46,5 \times (100 - 2) + 2 \times 818,127604 \times 48 \times (100 - 72) + 3 \times 768,885696 \times 49,6 \times (100 - 70)}{2 \times 800 \times 1,9 \times (100 - 80,3) + 3 \times 900 \times 1,8 \times (100 - 77) + 2 \times 800 \times 0,9 \times (100 - 75,1) + 3 \times 100 \times 0,4 \times (100 - 2) + 2 \times 818,127604 \times 1,6 \times (100 - 72) + 3 \times 768,885696 \times 3,1 \times (100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1739904 + 2999430 + 2278848 + 1367100 + 2199126,999552 + 3432305,746944}{59888 + 111780 + 35856 + 11760 + 73304,2333184 + 214519,109184}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{14016714,75}{507107,3425}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,64$$

Ecuación 10. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N esperada de 28 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x800x55,2x(100 - 80,3) + 1x900x48,3x(100 - 77) + 1x800x57,2x(100 - 75,1) + 3x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 2x768,885696x49,6x(100 - 70)}{1x800x1,9x(100 - 80,3) + 1x900x1,8x(100 - 77) + 1x800x0,9x(100 - 75,1) + 3x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 2x768,885696x3,1x(100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{869952 + 999810 + 1139424 + 1367100 + 1099563,499776 + 2288203,831296}{29944 + 37260 + 17928 + 11760 + 36652,1166592 + 143012,739456}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7764053,331}{276556,8561}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 28,07$$

Ecuación 11. Comprobación del cálculo para la cuarta combinación de relación C/N esperada de 28 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 29:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x800x55,2x(100 - 80,3) + 1x900x48,3x(100 - 77) + 1x800x57,2x(100 - 75,1) + 1x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 1x768,885696x49,6x(100 - 70)}{1x800x1,9x(100 - 80,3) + 1x900x1,8x(100 - 77) + 1x800x0,9x(100 - 75,1) + 1x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 1x768,885696x3,1x(100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{869952 + 999810 + 1139424 + 455700 + 1099563,499776 + 1144101,915648}{29944 + 37260 + 17928 + 3920 + 36652,1166592 + 71506,369728}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{5708551,415}{197210,4864}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 28,95$$

Ecuación 12. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 29 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 30:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{2x800x55,2x(100 - 80,3) + 2x900x48,3x(100 - 77) + 3x800x57,2x(100 - 75,1) + 2x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 2x768,885696x49,6x(100 - 70)}{2x800x1,9x(100 - 80,3) + 2x900x1,8x(100 - 77) + 3x800x0,9x(100 - 75,1) + 2x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 2x768,885696x3,1x(100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1739904 + 1999620 + 3418272 + 911400 + 1099563,499776 + 2288203,831296}{59888 + 74520 + 53784 + 7840 + 36652,1166592 + 143012,739456}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{11456963,33}{375696,8561}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,50$$

Ecuación 13. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 30 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7x800x55,2x(100 - 80,3) + 1x900x48,3x(100 - 77) + 2x800x57,2x(100 - 75,1) + 1x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 1x768,885696x49,6x(100 - 70)}{7x800x1,9x(100 - 80,3) + 1x900x1,8x(100 - 77) + 2x800x0,9x(100 - 75,1) + 1x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 1x768,885696x3,1x(100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{6089664 + 999810 + 2278848 + 455700 + 1099563,499776 + 1144101,915648}{209608 + 37260 + 35856 + 3920 + 36652,1166592 + 71506,369728}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{12067687,42}{394802,4864}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,57$$

Ecuación 14. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 30 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{2x800x55,2x(100 - 80,3) + 2x900x48,3x(100 - 77) + 2x800x57,2x(100 - 75,1) + 3x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 2x768,885696x49,6x(100 - 70)}{2x800x1,9x(100 - 80,3) + 2x900x1,8x(100 - 77) + 2x800x0,9x(100 - 75,1) + 3x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 2x768,885696x3,1x(100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1739904 + 1999620 + 2278848 + 1367100 + 1099563,499776 + 2288203,831296}{59888 + 74520 + 35856 + 11760 + 36652,1166592 + 143012,739456}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{10773239,33}{361688,8561}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 29,79$$

Ecuación 15. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N esperada de 30 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x800x55,2x(100 - 80,3) + 1x900x48,3x(100 - 77) + 1x800x57,2x(100 - 75,1) + 7x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 3x768,885696x49,6x(100 - 70)}{1x800x1,9x(100 - 80,3) + 1x900x1,8x(100 - 77) + 1x800x0,9x(100 - 75,1) + 7x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 3x768,885696x3,1x(100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{869952 + 999810 + 1139424 + 3189900 + 1099563,499776 + 3432305,746944}{29944 + 37260 + 17928 + 27440 + 36652,1166592 + 214519,109184}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{10730955,25}{363743,2258}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 29,50$$

Ecuación 16. Comprobación del cálculo para la cuarta combinación de relación C/N esperada de 30 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 31:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{2x800x55,2x(100 - 80,3) + 2x900x48,3x(100 - 77) + 3x800x57,2x(100 - 75,1) + 3x100x46,5x(100 - 2) + 2x818,127604x48x(100 - 72) + 2x768,885696x49,6x(100 - 70)}{2x800x1,9x(100 - 80,3) + 2x900x1,8x(100 - 77) + 3x800x0,9x(100 - 75,1) + 3x100x0,4x(100 - 2) + 2x818,127604x1,6x(100 - 72) + 2x768,885696x3,1x(100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1739904 + 1999620 + 3418272 + 1367100 + 2199126,999552 + 2288203,831296}{59888 + 74520 + 53784 + 11760 + 73304,2333184 + 143012,739456}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{13012226,83}{416268,9728}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 31,26$$

Ecuación 17. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 31 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{2x800x55,2x(100 - 80,3) + 1x900x48,3x(100 - 77) + 2x800x57,2x(100 - 75,1) + 1x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 1x768,885696x49,6x(100 - 70)}{2x800x1,9x(100 - 80,3) + 1x900x1,8x(100 - 77) + 2x800x0,9x(100 - 75,1) + 1x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 1x768,885696x3,1x(100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1739904 + 999810 + 2278848 + 455700 + 1099563,499776 + 1144101,915648}{59888 + 37260 + 35856 + 3920 + 36652,1166592 + 71506,369728}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7717927,415}{245082,4864}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 31,49$$

Ecuación 18. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 31 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x800x55,2x(100 - 80,3) + 1x900x48,3x(100 - 77) + 1x800x57,2x(100 - 75,1) + 2x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 1x768,885696x49,6x(100 - 70)}{1x800x1,9x(100 - 80,3) + 1x900x1,8x(100 - 77) + 1x800x0,9x(100 - 75,1) + 2x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 1x768,885696x3,1x(100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{869952 + 999810 + 1139424 + 911400 + 1099563,499776 + 1144101,915648}{29944 + 37260 + 17928 + 7840 + 36652,1166592 + 71506,369728}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{6164251,415}{201130,4864}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,65$$

Ecuación 19. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N esperada de 31 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 32:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x800x55,2x(100 - 80,3) + 1x900x48,3x(100 - 77) + 2x800x57,2x(100 - 75,1) + 1x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 1x768,885696x49,6x(100 - 70)}{1x800x1,9x(100 - 80,3) + 1x900x1,8x(100 - 77) + 2x800x0,9x(100 - 75,1) + 1x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 1x768,885696x3,1x(100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{869952 + 999810 + 2278848 + 455700 + 1099563,499776 + 1144101,915648}{29944 + 37260 + 35856 + 3920 + 36652,1166592 + 71506,369728}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{6847975,415}{215138,4864}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 31,83$$

Ecuación 20. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 32 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{2x800x55,2x(100 - 80,3) + 2x900x48,3x(100 - 77) + 3x800x57,2x(100 - 75,1) + 4x100x46,5x(100 - 2) + 2x818,127604x48x(100 - 72) + 2x768,885696x49,6x(100 - 70)}{2x800x1,9x(100 - 80,3) + 2x900x1,8x(100 - 77) + 3x800x0,9x(100 - 75,1) + 4x100x0,4x(100 - 2) + 2x818,127604x1,6x(100 - 72) + 2x768,885696x3,1x(100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1739904 + 1999620 + 3418272 + 1822800 + 2199126,999552 + 2288203,831296}{59888 + 74520 + 53784 + 15680 + 73304,2333184 + 143012,739456}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{13467926,83}{420188,9728}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 32,05$$

Ecuación 21. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 32 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x800x55,2x(100 - 80,3) + 1x900x48,3x(100 - 77) + 1x800x57,2x(100 - 75,1) + 3x100x46,5x(100 - 2) + 1x818,127604x48x(100 - 72) + 1x768,885696x49,6x(100 - 70)}{1x800x1,9x(100 - 80,3) + 1x900x1,8x(100 - 77) + 1x800x0,9x(100 - 75,1) + 3x100x0,4x(100 - 2) + 1x818,127604x1,6x(100 - 72) + 1x768,885696x3,1x(100 - 70)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{869952 + 999810 + 1139424 + 1367100 + 1099563,499776 + 1144101,915648}{29944 + 37260 + 17928 + 11760 + 36652,1166592 + 71506,369728}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{6619951,415}{205050,4864}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 32,28$$

Ecuación 22. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 32 del primer conjunto de datos a nivel internacional.

2° Conjunto de datos

- Combinaciones Relación C/N esperada de 27:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x300x32,6x(100-5) + 1x400x12,2x(100-52,3) + 1x473,434248x50,6x(100-8) + 12x119,841752x36,3x(100-14) + 1x512,590464x37,8x(100-37)}{1x300x3,7x(100-5) + 1x400x0,5x(100-52,3) + 1x473,434248x2,3x(100-8) + 12x119,841752x0,3x(100-14) + 1x512,590464x2,7x(100-37)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{929100 + 232776 + 2203931,1112896 + 4489463,7767232 + 1220682,9309696}{105450 + 9540 + 100178,6868768 + 37103,0064192 + 87191,6379264}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{9075953,819}{339463,3312}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 26,74$$

Ecuación 23. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 27 del segundo conjunto de datos a nivel internacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 28:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x300x32,6x(100-5) + 1x400x12,2x(100-52,3) + 1x473,434248x50,6x(100-8) + 13x119,841752x36,3x(100-14) + 1x512,590464x37,8x(100-37)}{1x300x3,7x(100-5) + 1x400x0,5x(100-52,3) + 1x473,434248x2,3x(100-8) + 13x119,841752x0,3x(100-14) + 1x512,590464x2,7x(100-37)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{2203931,1112896 + 2618853,8697552 + 1220682,9309696 + 6597380,998656 + 1144101,915648}{100178,6868768 + 21643,4204112 + 87191,6379264 + 219912,6999552 + 71506,369728}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{13784950,83}{500432,8149}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,55$$

Ecuación 24. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 28 del segundo conjunto de datos a nivel internacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 29:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x300x32,6x(100 - 5) + 1x400x12,2x(100 - 52,3) + 1x473,434248x50,6x(100 - 8) + 15x119,841752x36,3x(100 - 14) + 1x512,590464x37,8x(100 - 37)}{1x300x3,7x(100 - 5) + 1x400x0,5x(100 - 52,3) + 1x473,434248x2,3x(100 - 8) + 15x119,841752x0,3x(100 - 14) + 1x512,590464x2,7x(100 - 37)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{929100 + 232776 + 2203931,1112896 + 5611829,720904 + 1220682,9309696}{105450 + 9540 + 100178,6868768 + 46378,758024 + 87191,6379264}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{10198319,76}{348739,0828}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 29,24$$

Ecuación 25. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 29 del segundo conjunto de datos a nivel internacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 30:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x300x32,6x(100 - 5) + 1x400x12,2x(100 - 52,3) + 1x473,434248x50,6x(100 - 8) + 16x119,841752x36,3x(100 - 14) + 1x512,590464x37,8x(100 - 37)}{1x300x3,7x(100 - 5) + 1x400x0,5x(100 - 52,3) + 1x473,434248x2,3x(100 - 8) + 16x119,841752x0,3x(100 - 14) + 1x512,590464x2,7x(100 - 37)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{929100 + 232776 + 2203931,1112896 + 5985951,7022976 + 1220682,9309696}{105450 + 9540 + 100178,6868768 + 49470,6752256 + 87191,6379264}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{10572441,74}{351831}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,05$$

Ecuación 26. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 30 del segundo conjunto de datos a nivel internacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 31:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x300x32,6x(100 - 5) + 1x400x12,2x(100 - 52,3) + 1x473,434248x50,6x(100 - 8) + 17x119,841752x36,3x(100 - 14) + 1x512,590464x37,8x(100 - 37)}{1x300x3,7x(100 - 5) + 1x400x0,5x(100 - 52,3) + 1x473,434248x2,3x(100 - 8) + 17x119,841752x0,3x(100 - 14) + 1x512,590464x2,7x(100 - 37)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{929100 + 232776 + 2203931,1112896 + 6360073,6836912 + 1220682,9309696}{105450 + 9540 + 100178,6868768 + 52562,5924272 + 87191,6379264}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{10946563,73}{354922,9172}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,84$$

Ecuación 27. Comprobación del cálculo para la combinación de relación C/N esperada de 31 del segundo conjunto de datos a nivel internacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 32:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x300x32,6x(100 - 5) + 1x400x12,2x(100 - 52,3) + 1x473,434248x50,6x(100 - 8) + 18x119,841752x36,3x(100 - 14) + 1x512,590464x37,8x(100 - 37)}{1x300x3,7x(100 - 5) + 1x400x0,5x(100 - 52,3) + 1x473,434248x2,3x(100 - 8) + 18x119,841752x0,3x(100 - 14) + 1x512,590464x2,7x(100 - 37)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{929100 + 232776 + 2203931,1112896 + 6734195,6650848 + 1220682,9309696}{105450 + 9540 + 100178,6868768 + 55654,5096288 + 87191,6379264}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{11320685,71}{358014,8344}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 31,62$$

Ecuación 28. Comprobación del cálculo para la combinación de relación C/N esperada de 32 del segundo conjunto de datos a nivel internacional.

3° Conjunto de datos

- Combinaciones Relación C/N esperada de 27:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7x200x53,2x(100 - 64,2) + 7x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 6x200x35,2x(100 - 42,9)}{7x200x0,6x(100 - 64,2) + 7x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 6x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{2666384 + 2781240 + 1027125 + 2411904}{30072 + 26488 + 188991 + 82224}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8886653}{327775}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,11$$

Ecuación 29. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 27 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{14x200x53,2x(100 - 64,2) + 1x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 1x200x35,2x(100 - 42,9)}{14x200x0,6x(100 - 64,2) + 1x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 1x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{5332768 + 397320 + 1027125 + 401984}{60144 + 3784 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7159197}{266623}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 26,85$$

Ecuación 30. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 27 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7x200x53,2x(100 - 64,2) + 7x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 7x200x35,2x(100 - 42,9)}{7x200x0,6x(100 - 64,2) + 7x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 7x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{2666384 + 2781240 + 1027125 + 2813888}{30072 + 26488 + 188991 + 95928}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{9288637}{341479}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,20$$

Ecuación 31. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N esperada de 27 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x200x53,2x(100 - 64,2) + 1x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 89x200x35,2x(100 - 42,9)}{1x200x0,6x(100 - 64,2) + 1x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 89x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{380912 + 397320 + 1027125 + 35776576}{4296 + 3784 + 188991 + 1219656}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{37581933}{1416727}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 26,53$$

Ecuación 32. Comprobación del cálculo para la cuarta combinación de relación C/N esperada de 27 del conjunto de datos a nivel nacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 28:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8x200x53,2x(100 - 64,2) + 7x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 7x200x35,2x(100 - 42,9)}{8x200x0,6x(100 - 64,2) + 7x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 7x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{3047296 + 2781240 + 1027125 + 2813888}{34368 + 26488 + 188991 + 95928}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{9669549}{345775}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,96$$

Ecuación 33. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N deseada de 28 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{15x200x53,2x(100 - 64,2) + 1x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 1x200x35,2x(100 - 42,9)}{15x200x0,6x(100 - 64,2) + 1x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 1x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{5713680 + 397320 + 1027125 + 401984}{64440 + 3784 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7540109}{270919}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,83$$

Ecuación 34. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 28 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7x200x53,2x(100 - 64,2) + 8x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 8x200x35,2x(100 - 42,9)}{7x200x0,6x(100 - 64,2) + 8x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 8x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{2666384 + 3178560 + 1027125 + 3215872}{30072 + 30272 + 188991 + 109632}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{10087941}{358967}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 28,10$$

Ecuación 35. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N esperada de 28 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x200x53,2x(100 - 64,2) + 1x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 144x200x35,2x(100 - 42,9)}{1x200x0,6x(100 - 64,2) + 1x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 144x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{380912 + 397320 + 1027125 + 57885696}{4296 + 3784 + 188991 + 1973376}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{59691053}{2170447}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,50$$

Ecuación 36. Comprobación del cálculo para la cuarta combinación de relación C/N esperada de 28 del conjunto de datos a nivel nacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 29:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8x200x53,2x(100 - 64,2) + 8x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 7x200x35,2x(100 - 42,9)}{8x200x0,6x(100 - 64,2) + 8x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 7x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{3047296 + 3178560 + 1027125 + 2813888}{34368 + 30272 + 188991 + 95928}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{10066869}{349559}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 28,80$$

Ecuación 37. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 29 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{16x200x53,2x(100 - 64,2) + 1x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 1x200x35,2x(100 - 42,9)}{16x200x0,6x(100 - 64,2) + 1x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 1x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{6094592 + 397320 + 1027125 + 401984}{68736 + 3784 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7921021}{275215}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 28,78$$

Ecuación 38. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 29 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8 \times 200 \times 53,2 \times (100 - 64,2) + 8 \times 100 \times 42 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 37,5 \times (100 - 72,5) + 8 \times 200 \times 35,2 \times (100 - 42,9)}{8 \times 200 \times 0,6 \times (100 - 64,2) + 8 \times 100 \times 0,4 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 6,9 \times (100 - 72,5) + 8 \times 200 \times 1,2 \times (100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{3047296 + 3178560 + 1027125 + 3215872}{34368 + 30272 + 188991 + 109632}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{10468853}{363263}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 28,82$$

Ecuación 39. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N esperada de 29 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1 \times 200 \times 53,2 \times (100 - 64,2) + 1 \times 100 \times 42 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 37,5 \times (100 - 72,5) + 334 \times 200 \times 35,2 \times (100 - 42,9)}{1 \times 200 \times 0,6 \times (100 - 64,2) + 1 \times 100 \times 0,4 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 6,9 \times (100 - 72,5) + 334 \times 200 \times 1,2 \times (100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{380912 + 397320 + 1027125 + 134262656}{4296 + 3784 + 188991 + 4577136}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{136068013}{4774207}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 28,50$$

Ecuación 40. Comprobación del cálculo para la cuarta combinación de relación C/N esperada de 29 del conjunto de datos a nivel nacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 30:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{9 \times 200 \times 53,2 \times (100 - 64,2) + 8 \times 100 \times 42 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 37,5 \times (100 - 72,5) + 1 \times 200 \times 35,2 \times (100 - 42,9)}{9 \times 200 \times 0,6 \times (100 - 64,2) + 8 \times 100 \times 0,4 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 6,9 \times (100 - 72,5) + 1 \times 200 \times 1,2 \times (100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{3428208 + 3178560 + 1027125 + 401984}{38664 + 30272 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8035877}{271631}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 29,58$$

Ecuación 41. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 30 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{17 \times 200 \times 53,2 \times (100 - 64,2) + 1 \times 100 \times 42 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 37,5 \times (100 - 72,5) + 1 \times 200 \times 35,2 \times (100 - 42,9)}{17 \times 200 \times 0,6 \times (100 - 64,2) + 1 \times 100 \times 0,4 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 6,9 \times (100 - 72,5) + 1 \times 200 \times 1,2 \times (100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{6475504 + 397320 + 1027125 + 401984}{73032 + 3784 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8301933}{279511}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 29,70$$

Ecuación 42. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 30 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8x200x53,2x(100 - 64,2) + 9x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 1x200x35,2x(100 - 42,9)}{8x200x0,6x(100 - 64,2) + 9x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 1x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{3047296 + 3575880 + 1027125 + 401984}{34368 + 34056 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8052285}{271119}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 29,70$$

Ecuación 43. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N esperada de 30 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x200x53,2x(100 - 64,2) + 16x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 2x200x35,2x(100 - 42,9)}{1x200x0,6x(100 - 64,2) + 16x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 2x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{380912 + 6357120 + 1027125 + 803968}{4296 + 60544 + 188991 + 27408}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8569125}{281239}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,47$$

Ecuación 44. Comprobación del cálculo para la cuarta combinación de relación C/N esperada de 30 del conjunto de datos a nivel nacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 31:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{9 \times 200 \times 53,2 \times (100 - 64,2) + 9 \times 100 \times 42 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 37,5 \times (100 - 72,5) + 1 \times 200 \times 35,2 \times (100 - 42,9)}{9 \times 200 \times 0,6 \times (100 - 64,2) + 9 \times 100 \times 0,4 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 6,9 \times (100 - 72,5) + 1 \times 200 \times 1,2 \times (100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{3428208 + 3575880 + 1027125 + 401984}{38664 + 34056 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8433197}{275415}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,62$$

Ecuación 45. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 31 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{18 \times 200 \times 53,2 \times (100 - 64,2) + 1 \times 100 \times 42 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 37,5 \times (100 - 72,5) + 1 \times 200 \times 35,2 \times (100 - 42,9)}{18 \times 200 \times 0,6 \times (100 - 64,2) + 1 \times 100 \times 0,4 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 6,9 \times (100 - 72,5) + 1 \times 200 \times 1,2 \times (100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{6856416 + 397320 + 1027125 + 401984}{77328 + 3784 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8682845}{283807}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,59$$

Ecuación 46. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 31 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x200x53,2x(100 - 64,2) + 16x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 1x200x35,2x(100 - 42,9)}{1x200x0,6x(100 - 64,2) + 16x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 1x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{380912 + 6357120 + 1027125 + 401984}{4296 + 60544 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8167141}{267535}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,53$$

Ecuación 47. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 31 del conjunto de datos a nivel nacional.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 32:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{10x200x53,2x(100 - 64,2) + 9x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 1x200x35,2x(100 - 42,9)}{10x200x0,6x(100 - 64,2) + 9x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 1x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{3809120 + 3575880 + 1027125 + 401984}{42960 + 34056 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8814109}{279711}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 31,51$$

Ecuación 48. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N 32 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{20 \times 200 \times 53,2 \times (100 - 64,2) + 1 \times 100 \times 42 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 37,5 \times (100 - 72,5) + 1 \times 200 \times 35,2 \times (100 - 42,9)}{20 \times 200 \times 0,6 \times (100 - 64,2) + 1 \times 100 \times 0,4 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 6,9 \times (100 - 72,5) + 1 \times 200 \times 1,2 \times (100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7618240 + 397320 + 1027125 + 401984}{85920 + 3784 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{9444669}{292399}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 32,30$$

Ecuación 49. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N 32 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{9 \times 200 \times 53,2 \times (100 - 64,2) + 10 \times 100 \times 42 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 37,5 \times (100 - 72,5) + 1 \times 200 \times 35,2 \times (100 - 42,9)}{9 \times 200 \times 0,6 \times (100 - 64,2) + 10 \times 100 \times 0,4 \times (100 - 5,4) + 1 \times 996 \times 6,9 \times (100 - 72,5) + 1 \times 200 \times 1,2 \times (100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{3428208 + 3973200 + 1027125 + 401984}{38664 + 37840 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8830517}{279199}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 31,63$$

Ecuación 50. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N 32 del conjunto de datos a nivel nacional.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x200x53,2x(100 - 64,2) + 17x100x42x(100 - 5,4) + 1x996x37,5x(100 - 72,5) + 1x200x35,2x(100 - 42,9)}{1x200x0,6x(100 - 64,2) + 17x100x0,4x(100 - 5,4) + 1x996x6,9x(100 - 72,5) + 1x200x1,2x(100 - 42,9)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{380912 + 6754440 + 1027125 + 401984}{4296 + 64328 + 188991 + 13704}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8564461}{271319}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 31,57$$

Ecuación 51. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N 32 del conjunto de datos a nivel nacional.

4° Conjunto de datos

- Combinaciones Relación C/N esperada de 27:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 8x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{7x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 8x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{365117,571 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 5683605,70944 + 1012531,355}{6954,6204 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 160553,8336 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8160964,047}{305060,3995}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 26,75$$

Ecuación 52. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 27 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$Relación \frac{C}{N} = \frac{53x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 1x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{53x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 1x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$Relación \frac{C}{N} = \frac{2764461,609 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 710450,71368 + 1012531,355}{52656,4116 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 20069,2292 + 81002,5084}$$

$$Relación \frac{C}{N} = \frac{5587153,09}{210277,59}$$

$$Relación \frac{C}{N} = 26,57$$

Ecuación 53. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 27 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$Relación \frac{C}{N} = \frac{7x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 8x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{7x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 8x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$Relación \frac{C}{N} = \frac{365117,571 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 5683605,70944 + 1012531,355}{6954,6204 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 160553,8336 + 81002,5084}$$

$$Relación \frac{C}{N} = \frac{8160964,05}{305060,40}$$

$$Relación \frac{C}{N} = 26,75$$

Ecuación 54. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N esperada de 27 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 9x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{1x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 9x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{52159,653 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 6394056,42312 + 1012531,355}{993,5172 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 180623,0628 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8558456,843}{319168,5255}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 26,81$$

Ecuación 55. Comprobación del cálculo para la cuarta combinación de relación C/N esperada de 27 del conjunto de datos a nivel provincial.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 28:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{10x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 9x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{10x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 9x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{521596,53 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 6394056,42312 + 1012531,355}{9935,172 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 180623,0628 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{9027893,72}{328110,18}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,51$$

Ecuación 56. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 28 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{61x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 1x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{61x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 1x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{3181738,833 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 710450,71368 + 1012531,355}{60604,5492 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 20069,2292 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{6004430,31}{218225,72}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,51$$

Ecuación 57. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 28 del conjunto de datos a nivel

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{9x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 10x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{9x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 10x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{469436,877 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 710450,71368 + 1012531,355}{8941,6548 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 20069,2292 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{9686184,781}{347185,8923}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,90$$

Ecuación 58. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N esperada de 28 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 11x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{1x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 11x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{52159,653 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 7814957,85048 + 1012531,355}{993,5172 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 220761,5212 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{9979358,27}{359306,9839}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 27,77$$

Ecuación 59. Comprobación del cálculo para la cuarta combinación de relación C/N esperada de 28 del conjunto de datos a nivel provincial.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 29:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{12x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 11x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{12x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 11x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{625915,836 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 7814957,85048 + 1012531,355}{11922,2064 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 220761,5212 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{10553114,45}{370235,67}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 28,50$$

Ecuación 60. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 29 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{71x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 1x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{71x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 1x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{3703335,363 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 710450,71368 + 1012531,355}{70539,7212 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 20069,2292 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{6526026,84}{228160,90}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 28,60$$

Ecuación 61. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 29 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{11x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 12x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{11x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 12x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{573756,183 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 8525408,56416 + 1012531,355}{10928,6892 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 240830,7504 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{11211405,51}{389311,3851}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 28,80$$

Ecuación 62. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 29 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\begin{aligned} & \text{Relación } \frac{C}{N} \\ &= \frac{1x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 13x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{1x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 13x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)} \end{aligned}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{52159,653 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 9235859,27784 + 1012531,355}{993,5172 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 260899,9796 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{11400259,7}{399445,4423}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 28,54$$

Ecuación 63. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 29 del conjunto de datos a nivel provincial.

- Combinaciones Relación C/N esperada de 30:

$$\begin{aligned} & \text{Relación } \frac{C}{N} \\ &= \frac{14x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 14x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{14x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 14x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)} \end{aligned}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{730235,142 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 9946309,99152 + 1012531,355}{13909,2408 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 280969,2088 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{12788785,90}{432430,40}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 29,57$$

Ecuación 64. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N esperada de 30 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{80x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 1x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{80x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 1x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{4172772,24 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 710450,71368 + 1012531,355}{79481,376 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 20069,2292 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{6995463,72}{237102,55}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 29,50$$

Ecuación 65. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N esperada de 30 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{13x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 14x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{13x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 14x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{678075,489 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 9946309,99152 + 1012531,355}{12915,7236 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 280969,2088 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{12736626,25}{431436,8779}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 29,52$$

Ecuación 66. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N esperada de 30 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\begin{aligned} \text{Relación } \frac{C}{N} &= \frac{1x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 17x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{1x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 17x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)} \end{aligned}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{52159,653 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 12077662,13256 + 1012531,355}{993,5172 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 341176,8964 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{14242062,55}{479722,3591}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 29,69$$

Ecuación 67. Comprobación del cálculo para la cuarta combinación de relación C/N esperada de 30 del conjunto de datos a nivel provincial.

- Combinaciones Relación C/N 31:

$$\begin{aligned} \text{Relación } \frac{C}{N} &= \frac{18x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 18x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{18x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 18x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)} \end{aligned}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{938873,754 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 12788112,84624 + 1012531,355}{17883,3096 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 361246,1256 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{15839227,37}{516681,38}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,66$$

Ecuación 68. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N 31 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{91 \times 14,2 \times 40,95 \times (100 - 10,3) + 1 \times 108,5 \times 41,23 \times (100 - 73,8) + 1 \times 344,2 \times 30,832 \times (100 - 52,83) + 1 \times 190,7 \times 51,156 \times (100 - 50,6) + 1 \times 262,7 \times 50,268 \times (100 - 46,2) + 1 \times 421,3 \times 35,5 \times (100 - 32,3)}{91 \times 14,2 \times 0,78 \times (100 - 10,3) + 1 \times 108,5 \times 2,66 \times (100 - 73,8) + 1 \times 344,2 \times 1,88 \times (100 - 52,83) + 1 \times 190,7 \times 1,96 \times (100 - 50,6) + 1 \times 262,7 \times 1,42 \times (100 - 46,2) + 1 \times 421,3 \times 2,84 \times (100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{4746528,423 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 710450,71368 + 1012531,355}{90410,0652 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 20069,2292 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{7569219,90}{248031,24}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,52$$

Ecuación 69. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N 31 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{17 \times 14,2 \times 40,95 \times (100 - 10,3) + 1 \times 108,5 \times 41,23 \times (100 - 73,8) + 1 \times 344,2 \times 30,832 \times (100 - 52,83) + 1 \times 190,7 \times 51,156 \times (100 - 50,6) + 18 \times 262,7 \times 50,268 \times (100 - 46,2) + 1 \times 421,3 \times 35,5 \times (100 - 32,3)}{17 \times 14,2 \times 0,78 \times (100 - 10,3) + 1 \times 108,5 \times 2,66 \times (100 - 73,8) + 1 \times 344,2 \times 1,88 \times (100 - 52,83) + 1 \times 190,7 \times 1,96 \times (100 - 50,6) + 18 \times 262,7 \times 1,42 \times (100 - 46,2) + 1 \times 421,3 \times 2,84 \times (100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{886714,101 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 12788112,84624 + 1012531,355}{16889,7924 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 361246,1256 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{15787067,71}{515687,8635}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,61$$

Ecuación 70. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N 31 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 21x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{1x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 21x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{52159,653 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 14919464,98728 + 1012531,355}{993,5172 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 421453,8132 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{17083865,41}{559999,2759}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 30,51$$

Ecuación 71. Comprobación del cálculo para la cuarta combinación de relación C/N 31 del conjunto de datos a nivel provincial.

- Combinaciones Relación C/N 32:

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{23x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 23x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{23x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 23x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1199672,019 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 16340366,41464 + 1012531,355}{22850,8956 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 461592,2716 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{19652279,20}{621995,11}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 31,60$$

Ecuación 72. Comprobación del cálculo para la primera combinación de relación C/N 32 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{103x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 1x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{103x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 1x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{5372444,259 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 710450,71368 + 1012531,355}{102332,2716 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 20069,2292 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{8195135,74}{259953,45}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 31,53$$

Ecuación 73. Comprobación del cálculo para la segunda combinación de relación C/N 32 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{22x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 23x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{22x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 23x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1147512,366 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 16340366,41464 + 1012531,355}{21857,3784 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 461592,2716 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{19600119,55}{621001,5955}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 31,56$$

Ecuación 74. Comprobación del cálculo para la tercera combinación de relación C/N 32 del conjunto de datos a nivel provincial.

$$\begin{aligned}
 & \text{Relación } \frac{C}{N} \\
 & = \frac{1x14,2x40,95x(100 - 10,3) + 1x108,5x41,23x(100 - 73,8) + 1x344,2x30,832x(100 - 52,83) + 1x190,7x51,156x(100 - 50,6) + 29x262,7x50,268x(100 - 46,2) + 1x421,3x35,5x(100 - 32,3)}{1x14,2x0,78x(100 - 10,3) + 1x108,5x2,66x(100 - 73,8) + 1x344,2x1,88x(100 - 52,83) + 1x190,7x1,96x(100 - 50,6) + 29x262,7x1,42x(100 - 46,2) + 1x421,3x2,84x(100 - 32,3)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{1 + 152159,653 + 117204,521 + 500585,700448 + 481919,19048 + 20603070,69672 + 1012531,355}{993,5172 + 7561,582 + 30523,51832 + 18464,3368 + 582007,6468 + 81002,5084}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = \frac{22767471,12}{720553,1095}$$

$$\text{Relación } \frac{C}{N} = 31.60$$

Ecuación 75. Comprobación del cálculo para la cuarta combinación de relación C/N 32 del conjunto de datos a nivel provincial.