La nitrificación tiene dos etapas: amoníaco a nitrito y nitrito a nitrato, realizada por dos grupos diferentes de bacterias. El nitrito se produce por nitrosomonas y el nitrato por nitrobacter. La fuente de energía de los organismos es el bióxido de carbono o ion de bicarbonato. Las nitrosomonas oxidan de 35 a 70 moléculas de gramo de amoníaco y el grupo nitrobacter de 70 a 100 moléculas gramo de nitrito por molécula gramo de carbono asimilado. (18, 79, 105).

En ciertos casos se implica en el proceso de nitrificación a organismos heterótrofos como ciertos hongos (penicillium, aspergillus) y otras bacterias como (achromobacter, bacillus, psdeumonas, vibro)

Los factores que afectan la nitrificación son: la materia orgánica soluble la reduce, es lenta en suelos alcalinos y ácidos y se favorece en reacción neutra, el fosfato la favorece, los suelos desaguados y bien airados, es buena en suelos arcillosos y baja en arenosos, y la mayor producción de nitratos es a una T° de 37°C y el proceso se detiene <5°C y >55°C. además la nitrificación se favorece con abonos y fertilizantes.

Sin embargo, cuando se agregan grandes cantidades de residuos orgánicos con una proporción alta carbono-nitrógeno se produce una inmovilización del amonio y nitrato quedando no disponible para la planta ya que los microrganismos los utilizan como fuente de nitrógeno para reforzar las proteínas de su cuerpo, este nitrógeno se liberará cuando los microrganismos mueren y se descomponen. Por lo que no se recomienda un cultivo después de incorporar residuos orgánicos carbonoso con relación C/N mayor a 30:1 sino se aplican fertilizantes nitrogenados.

La retención de N ionico en el suelo se da para el catión NH_4^+ como canje con otros cationes en el complejo de cambio catiónico del mismo pasando a la solución y pudiendo ser absorbidos por distintos organismos o las plantas. Además el amonio NH_4^+ y otros cationes (Ca^{++}, Mg^{++}, K^+, Na^+, H^+,) pueden ser retenidos en los coloides de la arcilla y en el humus en una forma intercambiable y obtenible, a fin de que las plantas puedan utilizarlas. El NH_4^+ ocupa el mismo lugar que el K^+ en la red cristalina de los silicatos debido a que sus radios ionicos son muy parecidos (1-33 angstrons el k^+ y 1.43 angstrons el

del NH_4^+), así todos los minerales y suelos capaces de fijar potasio, fijan también amonio, de tal forma que sí aumentó el K^+ fijado en la solución aumenta el NH_4^+ fijado en la red de los silicatos. El amonio fijado puede ser reemplazado por cationes capaces de expander las arcillas (Ca^{++}, Mg^{++}, Na^+, H^+) pero no por los que no lo hacen como el K^+. Los suelos ricos en materia orgánica también pueden fijar amonio, en proporción a la cantidad de carbono de la misma. La fijación de amonio no parece ser muy grande pero en práctica de aplicación profunda de fertilizantes como amoníaco o sales amoniacales en subsuelos con grandes cantidades de arcillas expansibles, puede ser un factor importante en la eficiencia de los fertilizantes usados.

Sin embargo, los iones nitrato NO_3^-, sulfatos, boratos y molibdados son aniones nutrientes que no son retenidos por la arcilla y el humus por el mismo proceso que los cationes. Por lo que aniones obtenibles existen en la solución del suelo o en algún compuesto químico en equilibrio con la solución del mismo. Así el ion nitrato no es retenido siendo transportado por el frente acuoso, por lo que en condiciones de alta humedad puede ser lixiviado hasta profundidades inaccesibles a las raíces, o ascender con el agua por algún ascenso capilar de una capa freática. Es la materia orgánica del suelo el almacén principal de aniones que por descomposición por bacterias, hongos, actinomices y oxidación subsecuente. Las plantas en desarrollo pueden obtener los aniones a través de la solución del suelo. (18, 105).

El balance del nitrógeno en el suelo resulta de analizar pérdidas y ganancias del mismo. Las ganancias se representan por fijación simbiótica, por abonado nitrogenado y por arrastres de el agua de lluvia o nieve.

Las pérdidas de nitrógeno se dan por extracciones de cosechas, lavado de nitratos, pérdidas por dexnitrificación y pérdidas por erosión.

a) Extracción por cosechas: depende del tipo de cultivo, de su rendimiento y del nivel de N en el suelo. Así una cosecha de trigo puede extraer de 50-60 kg de N/ha; y los cultivos intensivos pueden extraer 100-150 kg de N/ha.

b) Lavado de los nitratos: es función de la cantidad de agua y de

la permebilidad del suelo. Estas pérdidas son importantes durante período de lluvias y clima templado. Contribuye también a la eutrofización de los cursos de agua.

c) Pérdidas gaseosas: se deben a desnitrificación, causada por bacterias en suelos calientes y encharcados o a capacidad de campo si es de poro fino pudiéndose perder de un 10 a 15 % de Nitrógeno. La pérdida por volatilización del amoníaco se da en suelos alcalinos, calientes y secos por fertilizantes de tipo amoniacal que se aplican superficialmente.

d) Pérdidas por erosión: afecta a las partículas más finas (materia orgánica, arcilla) y en consecuencia disminuye la fertilidad.

En base a las pérdidas y ganancias en caso de poder calcularse permitirá establecer un abonado adecuado.

Para mantener la reserva de Nitrógeno orgánico en un suelo se puede intentar aumentarlo: intercalando leguminosas en la rotación de cultivos, enterrando leguminosas, añadiendo estiércol, evitando quemar rastrojos, haciendo "mulch" de paja, abonando con N-P-K ya que al aumentar el rendimiento aumentará el residuo orgánico que queda en el suelo. (18, 79).

Las deficiencias de N en el suelo produce (un amarillamiento) de las hojas por una disminución de clorofila, lo que se manifiesta en las hojas más viejas. Cantidades inadecuadas de N producen bajos niveles de proteína en la semilla y puntos vegetativos de la planta. El N interactúa con sinergismo con Mo, Mn, K y P y antagónico a Cu. Las plantas deficientes en N tienden a atrofiarse, crecen más lentamente y producen menos hijuelos que lo normal. También presentan menor número de hojas lo que produce que baje significativamente el rendimiento, y en otros madurez prematura como en el algodón. El maíz con insuficiencia de N tendrá mayor humedad en el grano que otro fertilizado. Las plantas deficientes de N sobreviven por semanas y aún meses. Toda la actividad metabólica está dirigida a la formación de flores y semillas. Los frutos maduran prematuramente, pero, son pocos y pequeños y no alcanzan su tamaño y forma normal. El porcentaje medio deficiente de N en suelo para maíz es 1.4%.

La deficiencia de N se manifiesta en una clorosis uniforme en las hojas viejas por descomposición de las proteínas de los plástidos

y alta movilidad.

Los excesos de N producen los siguientes efectos: quemado de semillas y plántulas, inhibición o deficiencia de los elementos Cu, Fe, y B. En cereales produce desarrollo excesivo del tallo lo que produce encamado. En naranjos, se puede producir el llamado "bufado" de los frutos y el embastecimiento de su piel. En frutales, si se amplia antes de la floración el exceso de N puede dar lugar al "corrido" de las flores, no dando muchos frutos. En ciertos cultivos forrajeros, la acumulación de nitratos en las plantas puede inducir toxicidad en animales que pasten sobre ellos. Ablanda los tejidos y facilita el ataque por insectos. Según el tipo de fertilizantes puede producir cambios en el pH acidificando o alcalinizando el suelo o acumulado de sales.

Para la fertilización nitrógenada es preciso considerar si el contenido del fertilizante es ion nitrato (NO_3^-) ion amonio (NH_4^+), o de ambos a la vez, por su efecto acidificante, o alcalimizante, o de acumulación de sales por los fertilizantes compuestos o mezclas con otros elementos. Asimismo, ha de tomarse en cuenta la disponibilidad inmediata o más lenta del elemento, así como el tipo de suelo, humedad disponible, costo, manejo y concentración del "N", y efectos tóxicos o residuales. (6, 7, 18, 87).

Los fertilizantes aportan N al suelo bajo la forma de ion amonio NH_4^+ o ion nitrato NO_3^- o en alguna otra fácilmente transformable a ellas, los tipo amoníaco o la urea que rápidamente se transforman en el ion amonio NH_4^+ o de tipo nítrico que se transforma en el ion nitrato, por lo tanto hay que tener en cuenta que:

1. Los fertilizantes amoniacales: su radical amonio se evapora cuando la temperatura del suelo es superior a 26 °C, es retenido por la arcilla y humus, sin penetrar en profundidad con la lluvia o riego, lo que obliga a incorporar el abono al suelo mediante labor de 30 centímetros, para ponerlo en contacto con las raíces. De esta forma es absorbido por las plantas en las siguientes circunstancias: —En suelos ácidos donde el amonio no se convierte en nitrato, las raíces se especializan en la nutrición a base de sal amoníaco. —En los suelos alcalinos, que se trasforma el amonio en nitrato, las raíces esperan la

nitrificación para absorber el nitrógeno nítrico, olvidando el amonio, del que utilizan pequeños fracciones. —Las plantas que toleran suelos ácidos (avena, patatas, arroz, naranjos,) absorben amonio, tanto en suelos ácidos como en los neutros o alcalinos. La penetración en profundidad de los abonos amoniacales se logra después de que los microbios del suelo los trasforman en nitratos, compuestos preferidos por todos las plantas en cualquier clase de suelos. La nitrificación es rápida con humedad adecuada en el suelo y T° mayor a 25°C y reacción del suelo neutra o alcalina, siendo lenta si no coincide los dos factores. Al mismo tiempo, una fracción de amonio se fija en el interior de las micelas arcillosas, y no es absorbido por las raíces ni trasformado en nitrato por quedar allí retrogradado.

2. Urea y cianamida — Son solubles en la solución del suelo no se ionizan, permaneciendo en forma de moléculas completas, en cuyo estado no las absorben las raíces, ni son retenidos por la arcilla; por tanto penetran en profundidad con la lluvia, riego o rocío. Mediante hidrólisis, a temperaturas mayores de 17°C, se transforma en el suelo en carbonato amónico, también soluble en agua, ionizándose de esta forma:

$$CO_3\ (NH_4^+)_2 \rightarrow CO_3^= + 2\ (NH_4^+)$$

donde el catión amonio, (NH_4^+), lo absorben las raíces, siendo además convertido en nitratos por los microbios del suelo, siempre que haya humedad adecuada y temperatura superior a 25° C.

3. <u>Nitratos</u> son solubles, ionizándose en la solución del suelo, cuya anión, NO_3^-, a causa de su débil potencia eléctrica. no es retenido por la arcilla, penetrando en profundidad con la lluvia, riego, o rocío, sin necesidad de labor de incorporado. Son absorbidos por todas las plantas en 24 horas. De otra parte, tienen carácter, oxidante y proporciona oxígeno del anión NO_3^- para la respiración de las raíces por lo que participan de un efecto nutritivo doble, con la cesión del nitrógeno y del oxígeno. Así, pues, los nitratos son los abonos nitrogenados de efecto seguro sobre los vegetales, por su rápida absorción. Pero

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

al filtrar con el agua, pueden descender por debajo del nivel radicícola, perdiéndose sus efectos nutritivos. Por ello no conviene distribuir de una vez la dosis anual de nitrato, que necesita fracciones en dosis pequeñas. De otra parte, la rápida absorción presenta un aspecto perjudicial, pues no permite aplicar más de 150 kg/ha cada 15-20 días, porque cantidades mayores o de gran frecuencia producen un extraordinario desarrollo vegetativo, en detrimento de la floración, hecho calificado por los agricultores diciendo que los nitratos a dosis elevadas queman las plantas. Por lo expuesto, el mayor número de veces deben preferirse los nitratos como abono nitrogenado para cultivos.

Unos abonos se difunden en el suelo con el agua (nitratos, urea, cianamida), otros son retenidos por el complejo arcilloso húmico, amonio de sales amónicas, lo que da carácter variable a la concentración nitrogenada del extracto acuoso del terreno, que no depende únicamente de la cantidad fertilizante añadido, sino de la humedad de la tierra, de la permeabilidad del suelo y del espesor de penetración del abono. (5, 18, 38, 79).

Tipos de fertilizantes nitrogenados:

1. Amoníaco anhidro, 82% de N, fórmula NH_3 es un gas comprimido a 14 kg por cm^2 a 40°C. se aplica inyectándolo a una profundidad de 15 cm o más en el suelo húmedo no saturado, a espacios de 100 o 50 cm. El NH_3^- reacciona con el agua y pasa a NH_4^+ que es retenido por arcillas y humus. Ventajas: Es de bajo costo, concentración elevada y menor trabajo de transporte, no se lixivia. Desventaja; requiere almacenamiento y almacenadores de alta presión, es explosivo, pérdida de transporte, el límite superior es de 168 kg por ha, aplicado a 15 y 20 cm de profundidad, en hileras separadas a 100 cm. Efecto inmediato fuertemente básico y a largo plazo moderadamente ácido.
2. Amoníaco acuoso - Agua amoniacal del 21-46% N NH_4OH en agua es un líquido con una ligera presión de NH_3 se aplica por inyección a 2.5 cm bajo suelo. Los iones NH_4^+ se adhieran a la arcilla y humus. Es de bajo costo, no requiere almacenamiento ni aplicarse a presión, y no se lixivia. Desventajas: análisis bajo, debe

cubrirse para evitar pérdidas por evaporación. Tiene efecto inmediato fuertemente básico, a largo plazo moderadamente ácido.

3. Nitrato de amonio posee 33.5 a 34.0% de N, su fórmula NH_4 NO_3, es sólido en píldoras secas o "pellets". Se aplica al voleo o en forma lateral en cobertura, puede dejarse sobre la superficie del suelo reacciona adhiriéndose el NH_4^+ a las arcillas y humus. El NO_3^- no se retiene en las arcillas, está en la solución del suelo hasta ser absorbido o desnitrificado. Ventajas: costo bajo, el CO_3^- se absorbe rápidamente, ocupa el 1° lugar de los abonos secos en porcentaje de N. Desventaja: el NO_3^- se lixivia o se desnitrifica en suelos cálidos y húmedos, expuesto al aire se endurece. Efecto inmediato ninguno y a largo plazo moderadamente ácido.

4. "Sulfato de amonio": posee 20.5 de N y 23.4 de S su fórmula es $(NH_4^+)_2$ SO_4, su estado físico es "pellets" secos o gránulos, se aplica al voleo o lateral en cobertura. El NH_4^+ se adhiere a la arcilla o materia orgánica. Ventajas: condición excelente, muy útil para acidificar suelos alcalinos. Desventajas: análisis bajo, costo medio, es el mayor acidificante lo que implica mayor costo. Efecto inmediato ninguno y a largo plazo fuerte acidez.

5. Urea o carbamida: posee de 45 a 46.5% de N, su fórmula es CO $(NH_2)_2$ su presentación es sólida en perdigones, cristales píldoras secas. Su aplicación es variada: al voleo, o lateral en cobertura, agregada en soluciones. Pulverización líquida en algunos cultivos pero no en maíz. Reacciones con el suelo el NH_2 se transforma en NH_3 y luego en NH_4^+ y se integra a la solución del suelo y adhiere a las arcillas y humus. Ventajas: tiene el mayor porcentaje del N de todos los fertilizantes secos. solubilidad alta. Después de transformado en NH_4^+ no se lixivia. Desventajas: se lixivia después de su aplicación, y algo se puede perder por volatilización de NH_4^+. Efecto inmediato levemente básico y largo plazo moderadamente ácido. La urea es uno de los abonos nitrogenados de más difusion en el mundo, su empleo generalizado es reciente. Además de ser utilizado como fertilizante es un producto intermedio de otros procesos industriales. Es recomendable que la impureza "biuret"

que contiene no sea mayor a 1% ya que puede ser tóxico a las plantas. Se recomienda enterrar la urea y evitar perdida de NH_4^+ por volatilización. La hidrólisis de la urea en condiciones favorables se da a los dos o tres días de su aplicación en suelos ricos de materia orgánica a los siete u ocho días en suelos de poca materia orgánica. Su solubilidad permite aplicarse en abonado folear, en soluciones acuosas o junto con herbicidas, en concentraciones de 0.5-1%. Otra ventaja de la urea es el uso como pienso en la alimentación nitrogenada del ganado vacuno. Es generalmente menos acidificante que los fertilizantes nitrogenados comunes y es más económica por unidad de N. La descomposición en el suelo de la urea se produce por enzimas, microbianas (ureasa): primero se transforma en carbonato amónico (inestable) y a continuación en amonio, el cual la mayoría de los casos se transforma inmediatamente en nitratos. La reacción depende de la temperatura:

$$CO(NH_2)_2 + 2H_2O \xrightarrow{\text{UREASA}} (NH_4)_2CO_3^- \rightarrow NH_4^+$$

Carbamida — Agua — Enzima — Carbonato amónico — Amonio

6. Soluciones nitrogenadas:
   a) Urea en solución de nitrato de amonio: contiene 32% de N su estado es líquido sin presión amoniacal, se aplica en pulverización o lluvia-fina sobre la superficie, o aplicación lateral en cobertura reacciona igual que urea y nitrato de amonio. Ventajas no ocupa equipo para aplicarse y puede aplicarse en la superficie. Desventaja un poco costoso y pérdidas al aplicarse en la superficie.
   b) Amonio en solución de nitrato de amonio: posee 41% de N o menos si se diluye en presión de NH_3. Es líquido, con un poco de amoníaco libre. Se inyecta a una profundidad de 2.5 a 5 cm antes de la siembra o en aplicación lateral en cobertura. Reacciona igual que amoníaco anhidro y nitrato de amonio. Ventajas requiere equipo de baja presión, no se lixivia hasta que se transforme en NO_3^-. Desventaja: ligera presión de NH_3, cubrirse unos 2.5 o 5.0 cm para evitar pérdidas
7. Nitrato de sodio: con 16% de N, y 0.6% de Cl, estado físico gránulos secos, se aplica al voleo o en cobertura lateral, o en

superficie. El NO_3^- permanece en la solución no es retenido por arcilla ni humus. El sodio es básico, eleva el pH y reduce la acidez. Ventajas, se asimila fácilmente, no forma ácidos. Desventaja costo alto, bajo concentración de N. Efecto inmediato muy pequeño y a largo plazo básico. Fórmula Na NO_3.

8. Nitrato de calcio: posee 15.5% de N, su fórmula $Ca(NO_3)_2$. Estado físico gránulos secos. Se aplica al voleo, o cobertura lateral o en la superficie. El NO_3^+ está en solución no se retiene ni por arcilla ni humus. El calcio es básico eleva el pH. Ventajas= se asimila rápido, no forma ácidos. Desventajas: costo alto, baja concentración de N. Posee también 27.0 de CaO, 2.5 MgO. y 0.2 CI. efecto inmediato muy pequeño y a plazo largo básico.

9. Cianamida calcica: tiene 21% de N, fórmula Ca CN_2, estado físico píldoras negras secas, se aplica al voleo o en cobertura lateral, reacciones complejas. Ventajas: puede ser usado como herbicida y como defoliador (en polvo). desventajas: alto costo, productos de reacción intermedia tóxicos, concentración baja.

10. Formalurea: porcentaje de N 38% o menos. Fórmula $CO(NH_2)_2$ combinada con formaldehido. Presentación gránulos secos se aplica igual que la urea. Reacción libera N igual que urea pero lentamente. Ventajas el N se libera en varias semanas y no todo en una vez. Desventaja alto costo; liberación de N variable en velocidad, depende de humedad y temperatura.

11. Fosfato de amonio: contiene 11% N, 21% P (48% P_2O_2) fórmula $NH_4H_2PO_4$ estado físico gránulos secos, se aplica al voleo y en hilera, el NH_4^+ se integra a la solución y adhiere a humus y arcilla, Ventajas: el fósforo es totalmente soluble en agua, adecuados para suelos que no ocupan potasio. Desventaja: acidez residual alta.

12. Fosfato de amonio y sulfato de amonio: se integra por 16% de N y 8% de P (20% P_2O_5) fórmula Mixto= NH_4 H_2PO_4 y $(NH_4)_2$ SO_4. Presentación gránulos secos. Se aplica al voleo o con sembradora en hilera. Reacciones del amonio con la solución del suelo y el fósforo soluble en agua. Desventajas: Efecto de acidez alto, costo alto.

13. Fosfato diamónico: contiene 18 a 21% N, 20 a 23% P (46 a 53%

P_2O_5) estado sólido gránulos secos, se aplica al voleo, o en hileras laterales a la semilla, reacción libera amoníaco (NH_3) similar al fosfato de amonio. Ventajas: alta concentración, costo bajo, P soluble en agua, en mezcla evita separación posible de N, y P. Desventajas se corre el riesgo de perjudicar la germinación si la concentración de amoníaco eleva mucho. Efecto inmediato es básico pues se libera una molécula de amonio NH_4^+, y a largo plazo moderadamente ácido.

14. Nitrato de potasio: se integra por 13.5% de N y 30.0% K o (46% K_2O), fórmula KNO_3 se presenta en gránulos secos y se aplica al voleo, o con sembradora en hilera. Reacción del NO_3^- en la solución del suelo y el K con arcilla y humus. Ventajas se prefiere por el (KCl) en cultivos sobre los que el ion cloruro es objetable (Tabaco). Desventajas: baja concentración de N, costo medio, se lixivan los NO_3^-, efecto inmediato muy pequeño a largo plazo básico.

Otros fertilizantes son: cloruro de amonio 26% N, oxiamidas 32% N, Diurea crotonilldene 28% N, Diurea isobutildene 31% N. Una regla para fertilización nitrogenada en maíz dice que por cada kilo de rendimiento se necesitan 180 g. de nitrógeno para equilibrar el carbono de los tallos, hojas y raíces. En otras palabras, un rendimiento de 3,750 kg requieren 68 kg de nitrógeno real. Esto no constituye necesariamente la cantidad óptima pero es la cantidad necesaria para evitar una deficiencia temporaria de nitratos. En un sistema continuo de cultivos de maíz, cuando 1 kg de maíz representa el costo de 250 g de nitrógeno aplicados al suelo, la cantidad, de nitrógeno más provechosa estará, probablemente, alrededor de 22 g por cada kilo de gramos de cosecha, año tras año, en suelos oscuros y profundos, y en suelos claros, aproximadamente 27 g.

En el maíz hay aproximadamente 25 g de N por cada kg de rendimiento de raíces, forraje y grano. Tres semanas antes de la emergencia de las panojas, se da la máxima velocidad de producción de materia seca, por lo que también se da la máxima utilización del N. (5, 18, 20, 38, 53, 54, 55, 76, 79, 87, 105).

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

b) Fertilización fosfórica:

Fósforo cuerpo simple, su nombre proviene (del griego phos, luz y phoros, que lleva) su símbolo es P, de número atómico 15, es un elemento trasparente, incoloro, o ligeramente amarillento, muy inflamable y luminoso en la oscuridad: fue descubierto por Brandt en 1969. En la naturaleza existe en forma de fosfatos; así como también se encuentra en los huesos, sistema nervioso, orina, en los tejidos vegetales y materia orgánica. Se derrite a 44°C y hierve a 280°C. Soluble en el sulfuro de carbono, se trasforma, cuando se calienta hasta 240°C, en un producto llamado fósforo rojo, que no es venenoso mientras como fósforo sí.

El fósforo es un elemento esencial, no existe otro que lo pueda sustituir, las plantas lo requieren para completar su ciclo normal de producción.

El fósforo, fundamental en la biología de los seres, es indispensable para el crecimiento de los vegetales, raíces, tallos, hojas, flores y frutos. Se encuentran en toda célula viva y es esencial en la nutrición, tanto vegetal como animal. Ocupa una posición clave en el metabolismo de los carbohidratos pues solo tiene lugar en forma normal cuando los compuestos orgánicos, se "esterifican" por el ácido fosfórico. Sin los esteres -P la respiración no es posible. Además, participan en el recambio de energéticos en el metabolismo de la grasa y la proteína. El fósforo entra en la composición de proteínas fundamentales, entre las que se citan las núcleo proteínas, activas en los procesos reproductivos de las células, así como de otros compuestos vitales como los nucleótidos, lecitinas, fitina, fosfátidos. Los efectos sobre el desarrollo de las plantas son: en la función clorofílica, el ácido fosfoglicérido es uno de los primeros compuestos de la fotosíntesis, y a partir de aquí se generan los azucares, grasas, proteínas, vitaminas y hormonas que forman las células. Uno de los efectos más evidentes en el ciclo vegetativo de las plantas es que el fósforo favorece el sistema radicular, fomentando la formación de raíces laterales y fibrosas, lo que aumenta la superficie de absorción de agua y nutrientes. Asimismo, incrementa por sí la resistencia a heladas, sequías y enfermedades microbianas. De otra parte, constituye un factor de precocidad en la maduración de frutos, de tal

forma que las semillas maduran varios días antes que cuando el fósforo es deficiente. En las leguminosas favorece el desarrollo de las nudosidades radiculas, y la absorción del nitrógeno del aire por los microbios de dichas nudosidades. La mayor parte del fósforo se acumula en las semillas como reserva nutritiva, que contribuye durante la germinación de las mismas a la formación del primer tallo y de la raíz primaria, hasta que la nueva planta comienza a realizar las funciones de asimilación; por ello, las especies que se cultivan por sus frutos son grandes consumidores de fósforo. En cereales aumenta el número de renuevos, y por lo tanto el número vástagos que por último generan espigas o mazorcas y mayor grano, también fortalece la paja y evita el vuelco o acamada, así como la relación paja grano con mayor rendimiento, reduciendo enfermedades por un desarrollo normal de las células, es vital para la formación de semillas.

Cuando el fósforo escasea en el suelo, se presentan en las plantas los siguientes signos: —Coloración verde oscura. -Deficiencia de raíces. —Daños por heladas y sequía. —Enfermedades criptogámicas. —Se prolonga el ciclo vegetativo. —Flores estériles; caída de flores y frutos con escaso desarrollo. —Espigas y mazorcas de tamaño reducido. —Vuelco en los cereales. —Granazón defectuosa. —Frutos poco dulces. —Pobreza en grasas, vitaminas y hormonas. —Falta de vigor vegetativo. —Alternativa de producción en frutales, así como reducción en tamaño de hojas y en número de yemas florales, retraso en la apertura de las flores y caída anticipada de las hojas. —Los forrajes a falta de fósforo bajan su calidad nutritiva. —Disminuye la nodulación en leguminosas. —Rápida muerte de la planta debido a que las células no pueden trabajar sin fosfátidos. La semipermeabilidad se destruiría y los compartimientos celulares se deberán mezclar unos con otros y con la solución que rodea a la célula. —Muestra cambios en el metabolismo debido a que las informaciones del núcleo serán trasmitidas irregularmente y a que numerosas enzimas serían infectivas. —Parálisis de la respiración. —Enriquecimiento de las células en carbohidratos. (5, 6, 7, 20, 34, 38, 54, 79, 105).

Los síntomas que se observan en las plantas deficientes de P son los más modestas que se conocen:

a) El crecimiento se retarda y luego seca.

b) El color de las hojas se oscurece.

c) Aparecen antocianinas.

El único síntoma específico en esta secuencia es la coloración verde oscura del verde azulado de las hojas viejas, a menudo con antocianinas. Hecht-Buchheltz indica que el color más oscuro de la hoja se explica por la paralización del crecimiento y solamente, una disminución de la formación de clorofila. Especialmente, aumentan el contenido de clorofila por unidad de área de la hoja. La planta con deficiencia de P tiene una intensidad de asimilación neta más alta, respiración normal o más alta, un metabolismo enzimático casi normal. Después de cesar el crecimiento, la planta muestra una apariencia normal. Por semanas y aún por meses, no se observan cambios en las plantas. Si se comparara esta planta con una normal, no se esperaría que esta planta muestre carencia de su ministro de P. Hasta ahora, no hay repuesta del por qué si se mantienen todos los procesos metabólicos, la planta paraliza su crecimiento. El porcentaje del nivel deficiente de fósforo en maíz es 0.20% y el nivel adecuado corresponde a 0.33%. Con mucha frecuencia, una deficiencia de fósforo no llega a ser evidente a través de una baja en los rendimientos, pero si en el contenido en la planta, que causa una nutrición defectuosa tanto para el hombre o animal que se alimentan de ellas. La deficiencia de P es difícil detectar en cereales. A menudo se observa un color rojizo en plantas de maíz deficientes en P y temperatura baja.

Los efectos por excesos de fósforo en los cultivos son los siguientes: En frutales como causa concomitante a la excesiva concentración de fosfatos se atribuyen una acentuación de la clorosis por falta de hierro y una reducción de la disponibilidad de zinc, cobre y boro, especialmente en terrenos ligeros.

Asimismo, exceso de P en el suelo es causante de deficiencias de elementos menores como Cobre Cu, Zinc Zn, Fierro Fe, Manganeso Mn, y en particular deficiencia de zinc en maíz. (5, 6, 7, 54, 79).

Dentro del contenido natural del suelo en fosfórico, y de las cantidades que económicamente pueden aportarse en forma de fertilizantes, generalmente, no se ha llegado a producir prejuicios

en las plantas por exceso de este elemento nutritivo. Por tanto no hay peligro de emplear dosis crecientes de abonos fosfotados. No obstante, existe un grado de concentración en el extracto del suelo, encontrado por "Demolón", donde la planta realiza la máxima absorción de fósforo, sin que tenga interés rebasar dicho nivel, porque no proporciona incrementos productivos, el cual consiste en un miligramo de fosfórico por litro de extracto acuoso del terreno. (38).

Las plantas absorben la mayor parte del fósforo que necesitan del suelo sea como ion ortofosfato primario ($H_2 PO_4^-$), y en menor cantidad ion ortofosfato secundario ($HPO_4^=$), formas inorgánicas procedentes de las rocas originarias del suelo o de los fertilizantes, y en menores cantidades absorben la forma orgánica, procedente de residuos vegetales y animales descompuestos por microrganismos a fosfatos de asimilación, o solubles en el extracto acuoso.

Por lo anterior el fósforo se encuentra en el suelo en ambas formas: orgánica como el nitrógeno, e inorgánica como el potasio; sin embargo, será absorbido por las raíces en la misma forma química, ya provenga del fertilizante aplicado durante el año, de residuos en descomposición o de los suministros básicos del suelo.

El fósforo elemental es químicamente muy activo. Debido a ello no se le encuentra en estado puro en la naturaleza. Se le encuentra sólo en combinación con otros elementos. De tal suerte que en todos los suelos existe P en forma de fosfatos proveniente su mayor parte de la interperización de la apatita, mineral que contiene P y Ca, junto con otros elementos como flúor y cloro. La descomposición de la apatita desprende P que forma numerosos compuestos solubles como los (ortofosfatos) aprovechados por las plantas y otra parte formará con Ca, Fe, y Al que no serán disponibles y/o estarán en forma "invertida" o "fija" no siendo aprovechadas por las plantas. Los fosfatos dicálcicos u octacálcicos son relativamente utilizables. Aparte de la roca fosfórica otras fuentes de P son los fertilizantes, la materia orgánica, el humus, microorganismos, los cuerpos de insectos y otras formas de vida en descomposición. (5, 38, 79).

La materia cósmica que cae sobre la tierra, del orden de 3,000 ton al año, contienen principios fosfatados.

Las avenidas fluviales transportan materiales de erosión de unos lugares a otros, enriqueciendo con sus aportaciones el contenido de fosfatos de determinadas zonas geográficas. Según investigaciones alemanas, el agua de lluvia aporta en un semestre 0.55 kg de anhídrido fosfórico por hectárea.

Así pues, el fosfórico del suelo P_2O_5, comprende 2 grados: el fosfórico total y el que se encuentra soluble o asimilable, de utilización inmediata para las plantas. El primero. o reserva fosfatada del terreno, varía del 0.5 al 1 por 1.000, que para un espesor de suelo de 30 cm representa de 1.800 a 3.600 kg/ha de anhídrido fosfórico, mientras que el segundo se mantiene disuelto en la solución en dosis de 40 a 80 kg por unidad superficial, el cual es el que se determina siempre en los análisis químicos, por ser el absorbido por las raíces, al que se denomina asimilable. que generalmente no basta para las exigencias de los cultivos agrícolas, de donde surge la necesidad de una fertilización fosfatada. Al disolverse los fosfatos en el extracto acuoso del suelo, experimentan su división en aniones fosfóricos y cationes de calcio, que son retenidos por el complejo absorbente, lo que impide su penetración en profundidad con la lluvia o riego.

Los aniones fosfóricos se encuentran en dos estados: como aniones de cambio y en forma retrograda reversible. Los de cambio están retenidos en la superficie externa de las partículas arcilla y en la caliza coloide, de donde pasan a la solución del suelo por cambio con iones húmicos y anhídrido carbónico principalmente. Dicho estado constituye la forma nutritiva para los vegetales.

Los aniones fosfórico retrogradados se encuentra fijados en los sesquióxidos, coloides y en los espacios interlaminares de la arcilla, donde permanecen inactivos sin presentar el cambio iónico. por lo cual no pasan a la solución del suelo. ni son absorbidos por las raíces. (34, 38, 79).

Del estrato acuoso del terreno obtienen las plantas la nutrición fosfatada; si se empobrece en fosfórico al absorberlo las raíces, la arcilla y la caliza van cediendo anión de fósforo a la solución por cambios iónicos, cuya concentración se mantiene constante hasta que se agota el fosfórico de cambio.

La capa arable de la mayoría de los suelos contiene entre 800 y 1600 kg de P por hectárea, combinado con otros elementos la mayoría en forma no disponible para las plantas. Sólo una cantidad muy pequeña del P total del suelo se encuentra en solución en un momento dado, por lo general menos de 4 kg por ha. Por lo tanto, a medida que las raíces penetran el perfil del suelo para usar el P disponible, éste debe ser reemplazado en forma continua. El P en la solución del suelo es reemplazado unas dos veces al día, o alrededor de 250 veces durante la estación de crecimiento de cultivos tales como el maíz y la soya. Para que un suelo produzca altos rendimientos debe reabastecer y mantener un nivel de P adecuado en solución.

La solución del suelo es:

1. Reabastecida con fósforo; por minerales, fertilizante comercial, residuos de cultivos y estiércol, materia orgánica, microorganismos e insectos.
2. Se torna no disponible: al invertirse o fijarse como fosfatos de Ca, Fe, o Al.
3. Como es removido (o perdido) del suelo: a) por los cultivos, b) por erosión y c) lixiviación.

El P se mueve muy poco en la mayoría de los suelos. Por lo general se queda en el lugar en que se presentó ya sea por interperización de los minerales o por fertilización. De modo que la pérdida por lixiviación es muy poco y básicamente en suelo arenoso. Así la pérdida importante de P resulta por erosión (escurrimiento) y remoción por plantas. El P todo se mueve por difusión, en forma lenta y de corto alcance, siendo muy baja en suelos secos y regular en húmedos, por lo que ésta depende de solubilidad del mismo y de la humedad del suelo. Así, en un suelo franco (migajón) el P está a 0.6 cm de una raíz nunca se acercará lo suficiente para ser absorbido por la raíz. Las raíces de un cultivo en crecimiento sólo entra en contacto con el 1% al 3% del suelo de la capa arable. (34, 79).

Por lo que prácticamente se debe suministrar el P adecuado a toda la zona radicular que asegura el P disponible durante cada etapa de crecimiento.

Según la disponibilidad de los fosfatos los cultivos solo

recuperan de un 25 a un 30% del fósforo aplicado por fertilizante, residuos orgánicos, o del mineral del suelo y el fósforo residual estará disponible para los cultivos siguientes. la disponibilidad del fósforo depende de múltiples factores como la fuente de P, tipo de suelo, cultivo, método de aplicación, clima, etc. Entre las condiciones del suelo están:

1. Tipo de arcilla: las arcillas caolinita retiene más el P con alta T° y lluvia.
2. Los suelos más arcillosos fijan más P que los arenosos.
3. Epoca de aplicación: puede ser en grandes cantidades y ocasionalmente o en varias aplicaciones de cantidades pequeñas según la capacidad fijadora del suelo.
4. Aireación = a mayor aireación mayor crecimiento y absorción de nutrientes y mejor descomposición orgánica por microorganismos que da P.
5. Compactación. A mayor ésta, menor aireación y reducción de la absorción de P y del crecimiento de las plantas.
6. Humedad. A mayor H° más absorción de P pero exceso de H° baja aireación reduce raíz y absorción del mismo.
7. Condiciones del fosfato en el suelo: no permitir que el suelo llegue a niveles bajo de P, fertilizando.
8. Temperatura: las T° altas favorecen descomposición de la materia orgánica, pero T° altas favorecen descomposición, —de la materia orgánica, pero T° muy altas o muy bajas limitan la absorción— del P por las plantas.
9. El pH del suelo: las formas más disponible o más solubles del P se presentan entre pH, neutro y ligeramente ácido 7.0 y 5.5. Existen compuestos de P con Ca, Mg y Na a niveles moderado y fuertemente alcalino, insolubles y compuestos de fósforo con hierro, manganeso y aluminio fijos a pH moderadamente ácido o fuertemente ácidos, por lo que la práctica de encalado es esencial en estos suelos.
10. Otros nutrientes: El Ca en suelos ácidos y el azufre en suelos básicos aumentan la disponibilidad del P, como también lo hace el N amoniacal, de tal forma que la fertilización nitrogenada permite que se aproveche casi al doble la absorción del P, que

si no se fertiliza con "N". (5, 34, 79).

. Debido a la poca movilidad y alta fijación del P la forma de aplicación como fertilizante es de gran importancia para facilitar la mayor disponibilidad al cultivo, para ello se consideran los niveles de fertilidad del suelo, cultivo a realizar y prácticas de manejo. Hay dos formas de aplicación:

1. Al voleo: con incorporación con arado de reja o disco para mayor contacto del P con el suelo, que cuando se coloca en bandas. Pero la fijación es mayor, cuando el fertilizante tiene mayor solubilidad y menor tamaño de partícula.
2. Aplicación en banda: los cultivos responden menos por dos razones: a) la fijación es menor en banda por menor contacto con el suelo y b) la banda coloca cerca de las raíces una fuente accesible de P, ésto solo en suelos de baja fertilidad pero para suelos de fertilidad alta lo mejor es incorporar al voleo con arado de reja o disco para una distribución más homogénea en el suelo.

Las bases para fertilización fosfatada están sustentadas en las investigaciones de Demolon y Schöesing. Albert Demolon, determinó la concentración óptima de solución fosfórica para nutrición de las plantas lo que ha dado origen a un método de fertilización fosfatada del suelo. Demolon investigó que en soluciones nutritivas circundantes la planta aumenta su crecimiento con la concentración en anhídrido fosfórico, por lo menos hasta 0.5 mg/l. Este título representa el límite mínimo necesario para obtener rendimientos máximos; pero lo más frecuente es que las sigan aumentando proporcionalmente al título de la solución hasta 1 mg/l. Desde 1.2 a 50 mg/l no se observa efecto útil en los rendimientos. Ahora bien, el título en P_2O_5 de la solución del suelo está en general comprendidas entre 0.2 y 0.5 mg/l. (38).

Schlöesing, encontró que la concentración fosfórica de la solución acuosa es independiente de la humedad del suelo de tal forma que si un kg de tierra se agita con un litro de agua, y se tiene una concentración en anhídrido fosfórico de 0.3 mg/l, seguirá siendo la misma si se agrega cinco litros de agua al suelo. Por lo que ni la lluvia o riego modifican dicha concentración. (38).

Si se admite el resultado de Demolon en medios líquidos circulantes, la fertilización fosfatada del terreno para cualquier cultivo consiste en agregar abono hasta una concentración de 1 mg/l.

Cada terreno tiene un determinado nivel fosfórico de la solución acuosa por lo que la cantidad de abono fosfatado necesario para elevar su nivel fosfórico variará desde 1,000 kg de superfosfato hasta 10,000 kg/ha para lograr 1 mg de anhídrido fosfórico/l de la solución. Así, en el primer caso se trata de suelos normales, con pocos sesquióxidos, y arcillas con buen grado de saturación interna en humus y calcio, donde la totalidad del anión fosfórico se encuentra retenido al exterior del complejo arcilloso húmico, mientras que el segundo denota la existencia de sesquióxidos de aluminio, hierro y arcilla de escaso nivel de saturación interna, que fijan aniones fosfóricos en los sesquióxidos y en el interior de las micelas arcillosas, los cuales no pasan al extracto acuoso del suelo, ni son absorbidos por las raíces.

Demolon, designa dosis isodínamas de abono fosfatado a las cantidades de este fertilizante, que elevan la concentración fosfórica en una décima de mg de anhídrido fosfórico/l de solución del suelo, dosis variables para cada terreno, que dependen de lo que fijan arcilla y sesquióxidos. (38).

La fertilización fosfatada es muy sencilla si se realizan dos determinaciones del fosfórico soluble en agua de una muestra de tierra: una tal como procede del campo: y la otra mezclada en el laboratorio con equivalente de 2,000 kg de superfosfato/ha equivalente a un espesor de suelo de 30 cm, como profundidad del arado de vertedora para incorporar el abono.

La comparación de los dos análisis refleja la reacción del suelo con el abono fosfatado, o sea, la reacción del fosfórico que queda libre o asimilable, en el extracto acuoso para las plantas.

Así también de ambos análisis se determina la cantidad de abono necesario para elevar el nivel fosfórico de la solución a 1 mg/l. Así en el primer análisis el anhídrido fosfórico del suelo, soluble en agua fue de 0.5 mg/l. Para el segundo análisis el fosfórico soluble en agua de la tierra abonada en el laboratorio con el equivalente de 2,000 kg de superfosfato/ha, en espesor de 30 cm fue de 0.8 mg/l, lo

que indica que 2,000 kg/ha de abono elevó el nivel fosfórico de la solución 3 décimas de mg.

Admitiendo proporcionalidad, como a la tierra sometida a análisis le faltan 5 décimas para alcanzar 1 mg, se establece una regla de tres:

2,000 kg de superfosfato han elevado 3 décimas.

Por kg de superfosfato lo elevarán en 5 décimas.

de donde:

$$X = \frac{5 \times 2{,}000}{3} = 3{,}332 \text{ kg/ha de superfosfato}$$

Para el método de Demolon la muestra de tierra se coloca en solución acuosa y se toma en cuenta la densidad aparente de los suelos 1.4 para arenosos; 1.3 normales y 1.2 arcillosos, así en un extracto de tierra normal de 1 ha y 30 cm de espesor el peso es igual a 10,000 m^2 x 0.3 m x 1.3 = 3,900 ton = 3,900,000 kg para el cual si se aplican 2,000 kg de abono fosfatado.

Sí 2,000 kg de abono se distribuyen en 3,900,000 kg de tierra,

Por kg de abono corresponden a 1 kg de tierra

$$X = \frac{2{,}000 \text{ kg} \times 1 \text{ kg}}{3{,}900{,}000 \text{ kg}} = 5 \text{ mg de abono/kg de tierra}$$

La eficacia del abono fosfatada requiere incorporarse hasta 30 cm, profundidad por arado de disco o vertedera, para que las raíces entren en contacto directo con los fosfatos, por ser compuestos que no penetran ni con lluvias o riego, al ser fijados por coloides de arcilla, caliza o sesquióxidos, por lo que no se recomienda aplicar al voleo y con gradeo, pues *no* llega a las raíces nutritivas. Cuando la tierra contenga una riqueza natural de fosfórico equivalente a un mg/l de solución del suelo, no hace falta fertilizar con fosfastos, solo efectuar análisis cada año y cuando el nivel fosfórico descienda a menos de 1 mg/l, se inicia el abonado. (5, 34, 38, 79).

Los abonos fosfatados son productos químicos que contienen fósforo asimilable en forma de anión fosfato, o lo producen por transformación. Abarcan una gran gama de productos desde sales solubles, pasando por otras insolubles pero fácilmente movilizables, hasta materiales poco solubles, que sólo se movilizan en condiciones específicas. El fosfato soluble de los fertilizantes, se describe

como soluble en agua, y soluble al citrato de amonio. El P insoluble al citrato es no disponible. El P disponible es la suma de P soluble al agua y al citrato. El P total es la suma del P disponible más el insoluble al nitrato.

El fosfato mineral es el material básico de casi toda la producción de fertilizantes fosforosos. Así todo el fosfato mineral se obtiene de minas a cielo abierto, que contiene cerca de 15% de P_2O_5 al eliminar impurezas y remover arcilla por el proceso de "enriquecimiento". Después el fosfato se muele muy fino, usándose directamente con muy poca movilidad o disponibilidad durante dos o tres años, o se trata para hacer el P más soluble. El tratamiento se efectúa con "ácido" o con "proceso térmico". El primero es el más importante para abonos fosfatados usando ácidos sulfúrico y fosfórico principalmente. El ácido sulfúrico se obtiene de azufre elemental o de dióxido de azufre, el 60% del ácido se aplica para formar fertilizantes, dando una mezcla de ácido fosfórico y yeso, éste se remueve por filtración quedando ácido fosfórico "verde" o de proceso húmedo con 54% de P_2O_5.

En el proceso térmico el ácido fosfórico se inicia obteniendo P elemental por reducción del fosfato mineral con "coke" en horno de arco eléctrico. El P elemental se oxida a P_2O_5 que después reacciona con agua y forma ácido fosfórico (H_3PO_4). El ácido fosfórico obtenido por proceso térmico es más puro que el (H_3PO_4) de proceso húmedo, por lo que se aplica más a fertilizantes líquidos; sin embargo, agronómicamente para su aplicación en el campo son idénticos, pero su proceso es muy costoso.

Los principales fertilizantes son:

1. Superfosfato normal simple o común también llamado fosfato monocálcico. Su fórmula es Ca $(H_2PO_4)_2$ el porcentaje de solubilidad en agua va de un 78 a más del 80%. Posee de un 16 a un 22% de P_2O_5 equivalente de 7 a 9.6% de P. Además del fosfato monocálcico, contiene sulfato de calcio (yeso). Su aplicación es directa y en seco, o como fertilizante mixto. Su reacción es neutra o ligeramente ácida si su fabricación es reciente. Solubilidad en citrato va de 97-100% y además, posee de un 18-21% de Ca total. Es color gris granulado grueso;

impurezas $CaSO_4$, óxidos y agua. Durante el proceso el fósforo se torna más asimilable, se desprende gas flour, y se forma una cantidad de gas igual al superfosfato. Este fertilizante es adecuado para todos los cultivos. Es el abono fosfatado de uso más generalizado pero actualmente se tiende a usar otros más concentrados. Se obtiene tratando el fosfato mineral con ácido sulfúrico medido.

2. Superfosfato triple o concentrado. Proviene de la reacción del fosfato mineral con ácido fosfórico y un poco de ácido sulfúrico (proceso húmedo). Contiene de un 45 a 47% de P_2O_5, con (19.6 a 20.5% de P asimilable) con fórmula, Ca $(H_2PO_4)_2$. La concentración puede ser mayor si se utiliza ácido superfosfórico. La solubilidad en agua es de 84%, y en citrato amónico va de 96-99%. Posee un contenido de calcio de 12.14% del total. Durante el proceso se torna más asimilable y desprende gas fluor. Se puede aplicar directamente y en seco, como fertilizante mixto, en mezclas a granel, y en suspensión. Cuando se aplica en combinación con amoníaco se afecta la solubilidad del fósforo en agua, por la formación de fosfato tricálcico que posee baja solubilidad y no a la de fosfato monocálcico que posee alta solubilidad en agua. El producto es color gris y granulado grueso. Posee impurezas como óxidos y agua. Difiere del superfosfato ordinario en que no contiene sulfato de calcio. Se le llama triple porque su riqueza se aproxima al triple de un fosfato normal.

3. Fosfatos de amonio. Se producen por amonificación del ácido fosfórico:

   a) El fosfato monoamónico (MAP: 11-12% de N y 48-55% de P_2O_5) fórmula $NH_4H_2PO_4$ se produce con ácido fosfórico y amoníaco anhidro, se tiene 11% N y 21% de P disponible, posee una acidez residual alta. Se le puede añadir un poco de ácido sulfúrico para producir fosfato y sulfato de amonio. La aplicación es directa en seco, como fertilizante mixto o en mezcla a granel, 100% soluble en agua.

   b) Fosfato diamónico. Se produce con ácido fosfórico y amoníaco anhidro pero con agregado contínuo de amoníaco a un pH de 5.8

y 6.0 lo que permite que se agregue un segundo NH_4, en el lugar del H+. Su fórmula es $(NH_4)_2$ HPO_4) posee 18% N y 46% P_2O_5 (18% N y 20% P disponible). Se aplica directamente en seco, como fertilizante mixto y en agua de riego. Es 100% soluble en agua.

4. Polifosfatos de amonio. Son por lo general fuentes líquidas de P, producidas por la amonificación del ácido fosfórico. El contenido de P fluctúa del 40-70% y el disponible de 10-30-0 a 11-37-0.

5. Metafosfato cálcico o fosfato de renanina. Posee el 19% cal y es 99% soluble en citrato. Fórmula $Ca(PO_3)_2$ se obtiene con fosfato de roca más anhídrido fosfórico, su procedimiento es caro por lo que se usa poco en E.U. Es el abono fosfatado sólo de mayor riqueza pues posee puro 72% de P_2O_5, y debido a las impurezas queda con 60-65% P_2O_5 y con 26.2 a 28-3% P disponible. Se aplica directamente en seco como fertilizante mixto o en mezcla a granel. Es un abono indicado para terrenos ácidos de climas húmedos. Sólo 5% soluble en agua.

6. Metafosfato dicálcico o bicálcico. Posee 29% de cal se puede obtener por huesos desgrasados o mineral fosfatado a los cuales se les agrega ácido clorhídrico formándose fosfato mocálcico al que se le agrega una lechada de cal para transformar a fosfato bicálcico. Este producto posee una riqueza de un 38-40% de P_2O_5. Es un producto soluble en suelos ácidos, siendo un abono indicado para corregir suelos ácidos pues tiene reacción básica. No se usa mucho pues es más caro que los superfosfatos. Este fertilizante se emplea en la elaboración de piensos. También se puede fabricar con tratamiento al mineral por ácidos; fosfórico, sulfúrico, nítrico y clorhídrico, etc. Es soluble en ácido cítrico y poco soluble en agua. El fosfato dicálcico es un polvo fino, difícil de aplicar en fertilizadora por lo que no es muy popular en Inglaterra. Sin embargo, es importante como constituyente de los fertilizantes compuestos fosfo amonificados o nitrofosfatadas, 98% soluble en citrato.

7. "Escorias básicas", escorias de defosforación o escorias Thomas: son subproductos de la industria del acero, es muy popular en

Europa se aplica cerca de donde se produce. Posee de un 14-18% de P_2O_5 en Europa y de 8-10% en USA. Se recomiendan en zonas ácidas pues tienen efecto neutralizante en un 60 a 80%. Es insoluble en agua, por eso se aplica bien molido y bien mezclado con el suelo, su disponibilidad está en proporción al tamaño de partícula, no aplicarse en bandas. Debe ser más del 80% soluble en ácido cítrico. Además, es bueno para encalar ya que 100 kg de escoria equivalen a 60 kg de piedra caliza. Se aplican a cultivos de período largo y son buenas para praderas, tréboles, pastos de invierno, etc. Son más baratos por unidad de P_2O_5 que los fosfatos solubles en agua. Posee de un 15% de P_2O_5, es soluble de 62-94% en citrato y tiene 32% de cal. Impurezas CaO, Fe, Mg, Mn. Polvo gris negro.

8. Roca fosfórica. Se obtiene de los yacimientos naturales y se muele finamente. Los mejores yacimientos están en el norte de Africa y contiene alrededor de 29% de P_2O_5. Son insolubles en agua, para usarse deben molerse muy bien, más del 90% deberá pasar el tamis de 100 mallas. Se recomiendan en suelos ácidos, no se asimilan en suelos neutro de 6.5 a 7.0. Se aplica a forrajeras, navos y cultivos de suelos ácidos de altas precipitaciones mayores a 750 mm. Se le llama novafos a los fosfatos parcialmente descompuestos o parcialmente tratados e hiperfos a los fosfatos naturales pulverizados. Los primeros son parcialmente granulados y los segundos polvo gris.

9. Los nitrofosfatos. Se forman con varias fórmulas químicas que incluyen fosfato de roca, ácido nítrico, un poco de ácido fosfórico para aumentar la solubilidad en agua de los productos, más un poco de sulfato de amonio o de potasio. La solubilidad en agua varía de bajo hasta un 70%. Se aplican directamente en seco, como fertilizantes mixtos o en suspensión. La mayoría se utilizan en países Europeos. De acuerdo a la solubilidad de mayor a menor los fosfatos quedan en este orden:

- Superfosfato triple y fosfato amónico.
- Superfosfato normal.
- Metafosfatos.
- Fosfato bicálcico

- Fosfatos naturales molidos
- Escorias Thomas.

C) Fertilización potásica:

Potasio metal alcalino, su símbolo es (K), de número atómico 19, que se extrae de la potasa, blando, fusible y que arde en contacto con el agua.

El potasio es uno de los tres nutrientes esenciales para las plantas, no es reemplazado por ningún otro nutriente. Los cultivos contienen más o menos la misma cantidad de K que N, pero mucho más K que P, y en muchos cultivos de alto rendimiento el K excede al N. Así el maíz para un rendimiento de 10,035 kg/ha. puede extraer por el cultivo un total de 239 kg/ha. No está claro porque las plantas requieren tan altas concentraciones de potasio (1% o más del peso seco). Su importancia se delata por el contenido de potasa de las cenizas vegetales que varía del 25% al 50% de las mismas.

El potasio a diferencia del fósforo, está presente en grandes cantidades en la mayoría de los suelos. Aproximadamente un 2.4% de la litosfera generalmente es potasio; en los suelos la concentración oscila entre 2% y 4% y siempre se encuentra en forma inorgánica. En los suelos la concentración de potasio es mayor que la de calcio y ésta mucho mayor que la de N (K > Ca > N).

El potasio en el suelo se origina a partir de la desintegración y descomposición de la rocas que están formadas por minerales potásicos como los feldespatos potásicos (ortosa, microclina) que son silicatos alumínico - potásicos ($KAL\ Si_3\ O_8$). También se encuentra el potasio en minerales secundarios del tipo de las arcillas (illitas, vermiculita, y en minerales interestratificados).

La corteza terrestre contiene compuestos potásicos que en términos medios suponen un 3.2% por 100 de K_2O y el 2.4% por 100 en estado simple. De esta suerte, todos los suelos contienen dicho elemento en mayor o menor cantidad. Los investigadores alemanes Sharrer y Fasf han determinado que en un semestre la lluvia aportaba 6 kg de potasa, K_2O, por hectárea.

No forma parte de ningún principio inmediato de los tejidos (no

forma compuestos orgánicos) lo que hace presumir una actividad nuclear del potasio en la asimilación clorofílica, hipótesis que se apoyan en el carácter radiactivo de dicho elemento, ya que desprende electrones por efecto de la luz, lo que afirma su importancia en la nutrición de plantas, por lo que su función primaria parece estar ligada al metabolismo de la planta. El K es vital para la fotosíntesis y esencial en la síntesis de proteínas, además junto en el P ayuda a un uso más eficiente del agua promoviendo la turgencia o presión interna de la planta y disminuyendo transpiración. (18, 38).

El potasio incrementa la eficacia de la hoja para elaborar azúcares y almidón, completando la acción del N, que aumenta el tamaño de la hoja y el K su eficacia. (La remolacha y patata requieren grandes cantidades K).

La función mejor conocida del K es actuar como cofactor en un número de reacciones enzimáticas (glicolisis, fosforilación oxidativa, fotofosforilación, etc.). También se le implica en el metabolismo y traslocación del almidón, absorción del ion NO_3, apertura de estomas y facilita la movilidad del hierro en la planta. Mejora la calidad del cultivo al reducir el embaste de las legumbres secas, garbanzos, judías, guisantes, que no resultan tiernas al hervirlas por la absorción del calcio, además de reducir los frijoles mohosos. El potasio aumenta la resistencia de las plantas a los efectos de la deshidratación por heladas o sequías.

El K incrementa la resistencia a enfermedades fortaleciendo mecanismos de la resistencia natural de las plantas: Ejem. reduce: El tizón de la hoja y podredumbre del tallo en maíz; Marchitez y caída en algodón, Moho y Cenicilla (mildiu) en soya; Manchas negras y podredumbre terminal del tallo en papas; Fuego en la hoja de tabaco; mancha de hoja y mancha de dolar en pastos, además fortalecen los tallos contra invasión de organismos invasores y el encamado y reduce el número de semillas arrugadas, descoloridas y mohosas en soya, por lo tanto mejora la calidad del fruto. En frutales el potasio tiene una función equilibradora frente al nitrógeno favoreciendo la acumulación de los elaborados, más que su consumo; incrementan la turgencia de los tejidos y de los frutos, su coloración, su contenido

de azúcar, el sabor y el aroma. En el melocotonero, manzano y el ciruelo, el abonado potásico ha demostrado el contenido de ácido de los frutos, al aumentar la concentración de jugos celulares, el potasio se opone a la deshidratación de los tejidos, reducción de los daños por sequías y heladas. En general en cualquier cultivo el flujo del K por su alta movilidad en los tejidos de la planta influye en el orden de las moléculas de agua para cambios rápidos de aumento de presión osmótica, en las células estomáticas y el reflujo de K disminuye la presión asmótica y las estomas se abren. En cereales produce hoja derecha y fuerte en especial en arroz y trigo.

Los síntomas de deficiencia de K se expresan de diferentes formas: marchitamiento y necrosis apical y marginal de las hojas viejas. Puntos necróticos. Alta movilidad. Perturbación del apertura de los estomas. Pérdida de turgencia. Colapso celular formado por el ácido inositohexafosfórico. (6, 20, 38, 54, 79, 105).

Una secuencia de desarrollo de deficiencia de K es: disminución del contenido de K; paralización del crecimiento; marchitamiento; traslocación del K de las partes viejas de la planta a la nueva; aparición de manchas o puntos necróticos en ápices y bordes de las hojas viejas; multiplicación de los síntomas señalados hasta la muerte de la planta. El cese del crecimiento se explica por baja movilidad del K, desde las hojas viejas, las nuevas están verdes pero más pequeñas, de lo normal, y los entrenudos permanecen cortos. El marchitamiento se liga a la perturbación de intercambio de K, y no protección así misma contra alta transpiración, siendo más las pérdidas de agua que la absorción y trasporte lo que produce marchitez. Al inicio de la falta de K el crecimiento no cesa pero se retarda, y al ampliarse las hojas y tallos la deficiencia de K en las células disminuye más y más. Por las traslación del K la células viejas alcanzan un mínimo. Por la falta de K la turgencia baja, las células sin turgencia colapsan y mueren, ésto solo se observa microscópicamente. A mayor colapso de células mayor puntos necróticos, hasta formar áreas enteras en ápices y bordes de hojas el proceso continua hasta que la hojas completas mueren. La hoja presenta entonces las siguientes imágenes: hojas jóvenes pequeñas pero verdes; sectores de hojas verdes normales; sectores de hojas

viejas con puntos necróticos; sectores de hojas viejas con necrosis en los bordes; sectores de hojas viejas muertas. Todos los síntomas de la deficiencia de K se encuentran relacionados con el metabolismo de las plantas; el marchitamiento es la perturbación de el mecanismo de abertura de estomas, flujo y reflujo de potasio; La necrosis por pérdida de turgencia, a falta de flujo de K. Las funciones del K en las enzimas se mantiene a pesar de los síntomas de deficiencia normal que la sucesión del mismo por los tejidos en crecimiento parece no ser tan alta como para sacar el K de las enzimas. Las funciones del K son las mismas en todas las especies vegetales, existiendo estrecha relación entre síntoma y función. (6, 54, 105).

En resumen a deficiencia de K, síntesis neta de carbohidratos complejos, proteínas o ácidos nucléicos se reduce y aumenta la síntesis de azúcares simples, aminoácidos y nucleótidos. La falta de K hace que las plantas crezcan lentamente, sistema radicular con desarrollo pobre, tallos débiles con vuelco común y las semillas y frutos son pequeños y arrugados, las plantas presentan baja resistencia a enfermedades muy susceptibles al mal tiempo, y los pastos dominan sobre las leguminosas a falta del mismo. En frutales la carencia reduce actividad estomática y capacidad fotosintética; la planta intenta remediar esta carencia con una mayor absorción de sodio. Por otro lado incide negativamente en la actividad vegetativa, fructificación y acumulación de reservas. Otros efectos de deficiencia en diferentes cultivos son coloraciones anormales de los frutos, y en el sabor de los tejidos ejem. patatas con mal gusto, garbanzos no tiernos, color diferente en el fruto de manzanas los tomates presentan tabiques laberínticos. En cereales se presenta raquitismo de raíces; ahijamiento escaso; tallos reducidos y débiles con tendencia al vuelco, granazón tardía y desecación de bordes y ápices de hojas. Los excesos de K o riqueza del mismo produce antagonismo con calcio, magnesio, cobre, Na y otros elementos disminuyendo la absorción de los mismos produciendo vegetación pobre en dichos elementos. Por otra parte causa deficiencia de algunos elementos menores como Mg, Cu, Zn, Fe y Mn. El exceso de K puede producir el denominado consumo de lujo de K ya que las especies vegetales pueden absorber más potasio del que necesitan para un

máximo rendimiento en materia seca. lo que facilita que el elemento se acumule en la planta sin que se incremente el crecimiento. sin embargo. este fenómeno en los pastos puede producir una hipomagnesemia en el ganado que se alimenta de ellos. Cantidades elevadas de fertilizantes potásicos pueden producir daños por salinidad. si las plantas son jóvenes y susceptibles o bien si el fertilizante se coloca muy cerca de las semilla pueda afectar la germinación de la misma. En fruticultura el exceso de K es terrible pues produce antagonismos en la absorción de N, que es de gran importancia en producción. Sin embargo. en general los excesos de abonado potasico no producen perjuicios en las plantas, ya que serían necesarias cantidades gigantescas de abono, que no se emplean ya que se requieren de cientos de toneladas para que afecte el suelo y los vegetales. (7. 18, 20. 38. 79. 105).

Las pérdidas de K en el suelo se dan por varios rubros como son: la extraída por los cultivos cosechados que varían si solo se cosecha el grano que posee un cuarto del K total y si el cultivo es para ensilaje se extrae el triple de este elemento; otra pérdida de K es causada por la erosión del suelo que tiene poca importancia por ser muy poca en la parte superficial; asimismo. se produce ciertas pérdidas por lavado en las aguas superficiales y subterráneas. aunque en la mayoría de los casos son insignificantes tanto desde el punto de vista agrícola como ambiental; otra pérdida que sí puede ser significativa se da por lixiviación en suelos con poca capacidad de retención y humedad elevada "suelos arenosos y turbosos".

La recuperación del K perdido se da con la incorporación de las dos terceras partes del mismo a través de los tallos. hojas y raíces del cultivo que se incorpora al suelo pues permanece en solución en las plantas vivas y se mueve libremente hacia las reacciones de intercambio a medida que se incorpora al suelo con la aplicación de fertilizantes fosfatados: y estiércoles o abonos orgánicos.

Si bien es cierto que en la mayoría de los suelos contienen miles de kg de K, solo una pequeña parte esta disponible para las plantas en la estación de crecimiento. probablemente menos del 2%. El potasio se absorbe del suelo en forma de ion K^+ y como tal se encuentra en la fracción soluble de la célula vegetal. El potasio

del suelo puede presentarse en diversas formas:

1. Potasio en solución: es una fracción pequeña del potasio total y es la más fácilmente aprovechable por las plantas. Está en equilibrio con el potasio fácilmente cambiable, equilibrio que se alcanza rápidamente.
2. Potasio fácilmente intercambiable: este depende del contenido de arcilla y materia orgánica del suelo es decir de su capacidad de intercambio catiónico, no superando en general 5% de esa capacidad.
3. Potasio difícilmente cambiable: es el que se encuentra entre los espacios interlaminales de arcilla como "illita, verniculita". Existe un equilibrio lento entre éste y el fácilmente cambiable. no habiendo un equilibrio claro entre ambos.
4. Potasio no cambiable: es el que está integrado en la red cristalina de los minerales potásicos "feldespatos", y en la unión de dos capas tetraédricas en las micas primarias sin alterar en estas últimas cuando se alteran (apertura de laminillas, grano fino, etc.) el potasio empieza a ser cambiable, aunque sin serlo tanto como en la superficie externas de un cristal. Normalmente, con fines prácticos, el potasio difícilmente cambiable y el no intercambiable se agrupan en el término de potasio no cambiable, que constituye más del 98% de potasio. total del suelo. La conversión de formas no intercambiables de potasio. en formas cambiables (aunque sean formas difícilmente cambiables) es también un proceso reversible, así la biotita cambia a vermiculita con un cultivo de trigo, al sustituir los iones K^{+} por iones mg^{++} entre las laminillas de biotita.

De lo anterior el potasio del suelo estará: a) no disponible o no asimilable para las plantas en crecimiento cuando se encuentra dentro de los minerales (rocas) no mineralizados, pero es liberado a medida que estos se interperizan. lo que sucede en forma muy lenta, por lo que no se podría llegar a aprovechar durante toda la vida de un productor, representa de un 90-98% del K total, b) potasio disponible o asimilable en forma lenta: está atrapado entre las capas de ciertas arcillas de suelo (ilita y vermiculita) que se encoge o

expande según sequedad y humedad del suelo, siendo atrapados los ionea K^+ entre las capas o liberadas haciéndose no disponibles o disponibles lentamente, esto equivale de 1-2% de K total, c) potasio disponible o asimilable del suelo: el potasio disponible en forma inmediata se integra por el K que se encuentra en la solución del suelo más el K retenido en forma intercambiable de las arcillas y la materia orgánica, esto va de 1 a 5% dependiendo del contenido de arcilla y materia orgánica. A medida que el potasio es extraido de la solución, una parte del K intercambiable pasa a ocupar su lugar.

También existe "retrogradación" del K o "fijación" del K a formas no cambiables debido a la reversibilidad de los equilibrios entre las distintas formas de K del suelo. Esto varía según los tipos de suelos y alcanzó su máximo en suelos ricos en arcillas no expansibles. La retrogradación se da porque el hueco entre los oxígenos de dos capas de sílice es de tamaño similar al del catión k^+, lo que permite su firme fijación por fuerzas electrostáticas, aún mayores en arcillas no espansibles con carga negativa concentrada en la capa tetraedrica. El catión NH_4^+ de similar radio iónico y carga, se comporta de forma análoga al potasio. La cantidad de potasio fijado varía con el contenido y tipo de arcilla, tiempo de contacto y de concentración de potasio y cationes antagónicos "Ca^{++}" en la solución. Las arcillas que fijan K son: vermiculita, illita abierta y montmorillonita de alta densidad de carga. Cabe mencionar que existe un equilibrio entre los cationes intercambiables de las arcillas y materia orgánica con la solución del suelo que se representa así: K de intercambio <-----> K en solución. (5, 18, 20, 34, 53).

De modo que, por el proceso de intercambio catiónico el K se encuentra disponible en forma continua para las plantas siempre que exista "K" suficiente. Así la mayoría de los suelos contiene 10 kg/ha o menos de K en solución suficiente para las plantas para uno o dos días que al removerse por estas es reemplazado por el intercambiable.

El maíz necesita grandes cantidades de K, esencial para su crecimiento vigoroso, su deficiencia son fáciles de reconocer y su corrección no es costosa, pues el K es el nutriente principal más

barato. La planta joven no necesita mucho potosio, pero el ritmo de absorción es máximo, durante las tres semanas anteriores a la emergencia de las panojas. Por lo tanto, los síntomas de deficiencia en maíz se presentaría en el momento en que la planta tiene una altura de 31 cm e inmediatamente antes de la emergencia de las panojas. Durante las dos semanas anteriores a la madurez, decrece el potasio total de la planta de maíz, probablemente porque el K que permanece en solución dentro de la planta es lavado por la lluvia tan pronto como las hojas mueren.

Los abonos o fertilizantes potásicos son sustancias químicas que contienen el elemento nutritivo potasio K en la forma asimilable de catión potásico, o que suministra cationes K^+ por transformación. Los abonos potásicos son sales relativamente simples, solubles en agua, todos con un alto "índice salino". Según la ley de abonos alemana entre los abonos potásicos se incluyen también los abonos potásicos magnésicos. Estos abonos se obtienen por purificación de minerales que contiene sales potásicas como [Carnalita, de 9 al 2% K_2O, silvinita con (KCl y NaCl) con un 20 a 30% K_2O es el más usado, Polihalita, Kaipita, Silvita con (KCl) y con un 63% de K^2O. La langheinita se forma por (K_2SO_4) y ($MgSO_4$) con un 23% de K_2O]. Los depósitos de potasio se presenta como yacimientos de sales sólidas debajo de la tierra y en salmueras de los lagos muertos u océanos. El K se extrae por arranque de carbón en minas subterráneas, extracción continua de mineral bruto de la veta, extracción por solución, y recuperación de salmueras superficiales. Las reservas potásicas son elevadas, además de los yacimientos alemanes que fueron de los más importantes del mundo, existen reservas en norteamérica (Estados Unidos y Canadá) Centro de Europa y URSS. (5, 18, 20, 34, 54, 79, 115).

Fertilizantes potásicos:

1. Cloruro de potasio (KCl): Es el fertilizante potásico de mayor uso de Estados Unidos y Canadá con más de 90%, es soluble en agua y contiene 60 y 62% de K_2O. La mayor parte proviene de la silvinita, una pequeña parte de las salmueras, se refina por cristalización o flotación, la mayoría de usos agrícolas se produce por flotación. Se presenta en cinco tamaños a) blanco

soluble, b) estándar especial, c) estándar, d) grueso y e) granular. Es un producto higroscópico que se presenta en polvo, cristales o granulado. Su coloración varía desde blanca a roja. Se puede aplicar directamente o combinado formando "pellets" secos, mezclas a granel o fertilizantes líquidos. El cloro que forma parte de muriato forman sales muy solubles con calcio, magnesio y sodio por lo que lixivia rápidamente no formando grandes acumulaciones en el suelo. Este abono es muy recomendable para maíz, pues el cloro ayuda a reducir podredumbre del tallo.

2. Sulfato de potasio: (K_2 SO_4). Es una sal blanca con 48 a 50% K_2O (39.8 a 41.5% de K) y 18% de azufre no más de 2.5% de cloro. Es más caro que el cloruro y no presenta ventajas para su uso en maíz, a menos que se tenga deficiencia de azufre, pero aún en este caso es más económico en KCl que comprar azufre en alguna otra forma. Se usa en cultivos sensibles a cloro como frutales, patatas y tabaco, y posee la ventaja de proporcionar azufre. También se le llama sulfato de potasa.

3. Sulfato de potasa-magnesia (K_2SO_4 $2MgSO_4$): También se llama sulfato de potasio y magnesia, y contiene 22% de K_2O, 11% de magnesio y 22% de azufre. Está presente en la naturaleza como mineral, langbeinita, que se refina para fertilizante. Es fuente de K y Mg solubles, es adecuado para lugares con deficiencia de Mg y/o azufre. Representa el 6% del K total empleado. Se utiliza cuando se requieren tres nutrientes K, Mg y azufre.

4. Nitrato de potasio (KNO_3): Se trata de una sal blanca, muy soluble, que contiene un 13% de nitrógeno y de un 44 a 46.6% de K_2O (38.7% de K); es pues un abono complejo. Se utiliza poco como abono por su elevado costo, no presenta ventajas agronómicas sobre el muriato, en cuanto a fuente de K para el maíz. Su principal aplicación es para cultivos frutales, tabaco, algodón y hortalizas. Es adecuado para fertilizantes líquidos. (5, 6, 7, 18, 20, 34, 38, 53, 54, 79, 105).

Los métodos de aplicación depende del cultivo, mano de obra y equipo, fertilidad del suelo, tipo de suelo, dosis y época de

aplicación, T° del suelo y son: aplicación en surco y aplicación al voleo antes de la siembra. La combinación de aplicación al voleo y en surco es a menudo la mejor forma de aplicar el fertilizante, porque permite un comienzo rápido y una reserva para la temporada de crecimiento. (5, 38, 79).

El ingeniero agrónomo francés, Gustavo Barbier, ha investigado la nutrición potásica de las plantas, encontrando que cuando el suelo contiene 150 Mg, de potasa anhidra, K_2O, por kg de tierra, están satisfechas las exigencias en potasio de todas las especies vegetales, en base a esto, la fertilización potásica consiste en añadir al suelo abono potásico suficiente para alcanzar 150 Mg de K_2O por kg de tierra. Para ello se práctica dos determinaciones de potasio asimilable, tratando el suelo con el reactivo acético: una sobre la muestra de suelo como procede del campo, y otra, después de mezclar la tierra en el laboratorio con el equivalente de 1,000 kg/ha en espesor de 30 cm del abono potásico que se vaya a emplear como sigue: (38).

- Muestra intacta = 50 mg de K_2O por kg de tierra.
- Tierra mezclada con el equivalente de 1,000 kg de abono/ha en 30 cm = 250 mg de K_2O por kg de tierra cm de espesor.

Ello expresa que 1,000 kg de abono potásico han logrado un incremento de potasa asimilable de 200 mg por kg de tierra. Como el nivel potásico que a de lograrse según Barbier, es de 150 mg, que supone aumentar en 100 mg la riqueza del suelo, procede plantear la siguiente proporción:

Si 1,000 kg de abono potásico han aumentado la potasa del suelo en 200 mg: Por kilogramo de abono potásico corresponde a un aumento de 100 mg de K_2O.

De donde:

$$X = \frac{100 \times 1{,}000}{200} = 500 \text{ kg/ha}$$

Actualmente el cultivo del maíz constituye el principal mercado para el fertilizante ya que representa el 34.5% de su uso comparada con otros cultivos de alto valor y buena respuesta como remolacha azucarera, tabaco, tomate, alfalfa, etc. (79).

d) Antecedentes históricos de la planta, suelo y los fertilizantes

El agricultor primitivo aprendió de su experiencia que ciertos suelos dejaban de producir rendimientos aceptables si se cultivaban continuamente, y que el añadir estiércol de animales, o residuos vegetales (particularmente leguminosas) restauraba la fertilidad). Teofrasto (siglos III y IV a.d.C.) recomendaba estercolar las tierras poco productivas, y menciona también cómo los agricultores de Tesalia y Macedonia enterraban cultivos de vicia faba u otras legumbres con el fin de enriquecer sus tierras.

El uso de fertilizantes minerales o de enmiendas, tal y como se práctica hoy en día, no era conocido por los antiguos. Sin embargo, existía la práctica de mezclar suelos de distintas propiedades, lo que contribuía a mejorar su textura y, con ello también, sus propiedades de aireación, retención de agua, etc. (18).

Los primeros estudios sobre nutrición vegetal se remontan al siglo tercero antes de Cristo. Aristóteles, al observar que las plantas crecían en el suelo, dedujo que el material de que las plantas estaban hechas era suelo. Esta idea se aceptó con generalidad hasta que los famosos experimentos de Van Helmont fueron publicados por su hijo cuarenta años después de su muerte.

A Jenofonte, historiador griego (430 a 355 a.C.), se le atribuye el primer registro del valor del abono verde en los cultivos cuando escribe: No obstante, cualquier yerbajo que haya sobre el terreno, al regresar a la tierra, enriquece el suelo tanto como el estiércol.

Catón (234 a 149 a.C.) escribió un manual práctico en el que recomendaba el cultivo intensivo, las rotaciones de los mismos, el empleo de legumbres para los mejoramientos de suelos y el valor del estiércol en un sistema de agricultura ganadera. También fue Catón el primero en clasificar la tierra de acuerdo con su valor relativo para cultivos específicos. Su clasificación incluía:

1. Tierra para viñedos.
2. Tierra para jardines.
3. Tierra de sauces.
4. Tierra para olivos.
5. Praderas.

6. Tierra para maíz.
7. Tierra maderera.
8. Tierra para árboles pequeños.
9. Tierra para robles.

La utilidad de los nabos para el mejoramiento de suelos fue puesta de relieve por Columella, 45 d.C., más o menos. Para los nabos, se recomendaban cantidades liberales de estiércol y arar la tierra debajo de los nabos y plantar el maíz. También proponía Columella el drenaje de la tierra y el empleo de cenizas, marga, trébol y alfalfa para hacer más productivos los suelos.

Cuando los bárbaros del norte conquistaron Roma, la agricultura científica y otras formas de arte y cultura se detuvieron hasta cerca de 1600.

En Holanda, Van Helmont (1577 a 1644) llevó a cabo un experimento clásico. Colocó un sauce de cinco libras en 200 libras de suelo (base secada al horno). El árbol solo recibió agua durante cinco años. al final de este período, el suelo pesaba solo dos onzas menos de las 200 libras, pero el sauce pesaba 169 libras y tres onzas. Dado que el árbol solo había recibido agua, Van Helmont razonó que el agua era el "principio" de la vegetación. Aunque el experimento de Van Helmont era avanzado en aquellos tiempos, más tarde se demostró que su razonamiento era falso por dos causas:

1. La pérdida de dos onzas del suelo consistía (lo cual ignoraba él) en minerales como calcio, potasio y fósforo, que fueron absorbidos por el árbol. Si Van Helmont hubiese quemado el sauce al acabar el experimento, hubiera recuperado las dos onzas de minerales del suelo.
2. El sauce contenía carbono del bióxido de carbono de la atmósfera y oxígeno de la misma. La presencia de carbono y oxígeno del aire como constituyentes del sauce refuta la conclusión de Van Helmont de que el agua es el "principio" de la vegetación. (105).

Así en 1699, John Woodward, en Inglaterra, llevó a cabo los primeros experimentos en que las plantas crecían sin suelo con las raíces sumergidas en agua. Observó que éstas sobrevivían durante algún tiempo creciendo en agua de lluvia, crecían mejor en agua del

río Támesis y aún mejor en un extracto acuoso de suelo. Como el crecimiento era proporcional a las impurezas que el agua contenía, Woodward concluyó que era la tierra, y no el agua, la base de la vegetación. (18).

En 1731, Jethro Tull de Oxford, Inglaterra, llegó a la conclusión de que el cultivo era uno de los elementos esenciales de las plantas en desarrollo y que el nitro, el agua, el aire, el fuego y la tierra producían aumentos en el crecimiento de la planta. (105).

Durante los siglos XVII y XVIII, prevaleció la idea de que las plantas estaban formadas por una sola sustancia, pero hacia 1775 Francis Home postuló que probablemente el principio de la vegetación era múltiple. Agua, tierra, sales, aceite y fuego podrían ser los constituyentes de los vegetales. Este investigador realizó una serie de experimentos en tiestos, conducentes a medir los efectos de las distintas sustancias en el crecimiento de las plantas, y llevó a cabo análisis químicos en ellas.

Se llegó a pensar que las plantas tomaban directamente la materia orgánica del suelo la cual constituía su principal nutriente. Esta idea, en cierto modo, estaba corroborada por los análisis químicos que indicaban que plantas y humus contenían esencialmente los mismos elementos. También se creía que las plantas contenían fuego de un modo fijado, o "flogisto".

Joseph Pristley (1795), observó que las ramas de menta purificaban el aire, revertiendo el efecto de la respiración. Más tarde descubrió la existencia del oxígeno. Ingenhousz (1730-1799) demostró que la purificación del aire por las plantas tenían lugar sólo en presencia de la luz y Senebier (1742-1809), postuló que el incremento de peso del sauce de Van Helmont era debido al aire. (18).

A principios del siglo XIX, Theodore de Saussure demostró que las plantas al respirar absorbían oxígeno y liberaban CO_2, y que además, en presencia de la luz, absorbían CO_2 y liberaban oxígeno; en ausencia de CO_2 las plantas morían.

De Saussure también, cultivó plantas en agua y en soluciones salinas diluidas, demostrando que en el primer caso apenas incrementaban su contenido en cenizas. Igualmente, demostró la necesidad de nitratos en el medio de cultivo. Además, estableció que

el suelo proporciona a las plantas cenizas y nitrógeno y que las membranas de las raíces no son meros filtros sino que permiten una entrada más rápida del agua que de las sales. También estableció que el carbono de las plantas procedía del aire, lo cual no fue aceptado inmediatamente por sus contemporáneos. (18).

A fines del siglo XIX, Jean Baptiste Boussingault, un químico francés, empleando las cuidadosas técnicas de De Saussure, inició los métodos de experimentación agrícola en parcelas en el campo. Pesaba y analizaba el estiércol que añadía a la tierra y hacía lo mismo con las cosechas que recolectaba. En sus hojas de balance, establecía los elementos nutritivos que procedían de la lluvia, los que procedían de suelo y los que derivaban del aire.

Por esta época Justus Von Liebig (1803-1873), prestigioso químico alemán, contribuyó a desterrar el mito del humus, estableciendo que:

1. La mayor parte del carbono en las plantas procede del CO_2 atmosférico.
2. El hidrógeno y el oxígeno proceden del aire y agua.
3. Los metales alcalinos se necesitan para neutralizar los ácidos que segregan las raíces de las plantas.
4. Los fosfatos se necesitan para la formación de las semillas y el potasio para el desarrollo de pastos y cereales.
5. Las plantas absorben del suelo indiscriminadamente, pero excrementan por sus raíces las sustancias que no necesitan.

Liebig pensaba que analizando las plantas y estudiando los elementos que contienen, se podría formular un conjunto de recomendaciones de abonado basadas en estos análisis. Desarrolló la ley del mínimo, que establece que el crecimiento de las plantas está limitado por el elemento presente en menor cantidad, aún cuando los demás estén presentes en cantidades apropiadas. Incluso llegó a fabricar el primer fertilizante inorgánico, que fue un completo fracaso. A pesar de esto, las contribuciones de Liebig para el avance de la agricultura fueron monumentales y se le considera como el padre de la química agrícola. (18).

En 1843, se estableció en Rothamsted (Inglaterra), la primera estación experimental agrícola, cuyos fundadores fueron J.B. Lawes y

J.H. Gilbert. Estos y sus colaboradores demostraron que no todos los principios de Liebig eran correctos y fundaron las bases de la experimentación agrícola moderna. Establecieron entre otros los siguientes puntos:

1. Las cosechas requieren fósforo y potasio, pero la composición de las cenizas no es una medida de los requerimientos minerales de las plantas.
2. Las plantas no leguminosas requieren un suministro de nitrógeno, además del de fósforo y potasio.
3. La fertilidad de los suelos puede mantenerse durante ciertos tiempos añadiendo fertilizantes químicos.

Por estas fechas, los fisiólogos vegetales Julius Sachs y W. Knop utilizando la técnica del cultivo de plantas en solución, fueron descubriendo algunos de los elementos esenciales para el desarrollo de las mismas. (18, 105).

Hacia 1870, V. V. Dokuchaev, en Rusia, descubrió un método de estudio de suelos en el campo, relativo al ambiente climático, fisiográfico y biótico. Aquel método fue la base de la morfología moderna de suelos, de la clasificación de los mismos y la planimetría.

En Alemania, durante los años de 1879 a 1898, Ewald Wollny dirigió una investigación sobre las relaciones entre suelo, planta, aire, agua, en cuanto influyen y son influidas por las propiedades físicas del suelo y la erosión. Por esta investigación, Wollny puede considerarse "el padre de la conservación moderna de suelos".

En 1899, F. H. King, de Wisconsin, publicó el primer libro de Física de la agricultura, basado en gran parte en su propio trabajo de investigación. (105).

e) Trabajos Similares

Escareño Rodríguez, C. (1971) en experimento sobre el efecto de niveles de fertilización nitrogenada y fosfórica en el cultivo de trigo, en la zona de Gral. Terán, N.L. (1970). Se probaron cuatro niveles de N (0, 50, 100, 150 kg N/ha) de fuente sulfato de amonio adicionando 50 kg P/ha fijos, así como cuatro niveles de P (0, 50,

-5. 100 kg P/ha de la fuente superfosfato de calcio triple, adicionando con valor fijo de 100 kg N/ha). La variedad de trigo fue Lerma Rojo 64-A, sembrándose 13, 14 y 15 de diciembre de 1970. El fertilizante se aplicó al voleo. No se encontró respuesta significativa entre los diferentes niveles de "N" con 50 P para rendimiento de grano, porcentaje de proteína pura y relación paja; sin embargo, hubo una ligera tendencia a incrementar la relacion grano/paja y porcentaje de proteína hasta el nivel de 150 kg N/ha. Los rendimientos de paja fueron significativos a un nivel de 100 kg N/ha, con 50 kg P/ha.

Respecto al "P" con 100 kg N/ha no hubo significancia sobre el rendimiento de grano, relación grano/paja ni el porcentaje de proteína; sin embargo, el rendimiento de paja fue significativa a 100 kg P/ha acompañado de 100 kg N/ha. (31).

Corral Garza, J. (1974) en experimento sobre fertilización de maíz de riego para grano en el municipio de Escobedo, N.L. (1969), probó cuatro niveles de N (0, 50, 100, 150 kg N/ha) tres de fósforo (0, 40 y 80 kg P/ha) y dos de K (0, 40 kg K/ha) sobre la variedad N.L. sintético precoz. No se encontró diferencia significativa sobre el rendimiento entre las diferentes fuentes y niveles de fertilización, considerándose que esto se debió a la reducida absorción de los elementos por las plantas lo que se reveló en la no diferencia de los mismos en el análisis folear. El poco aprovechamiento de los materiales aplicados pudo haber sido a diferentes tipos de pérdidas, o insolubilización causadas por las propias características del suelo. (32).

Pineda Zúñiga, F.G. (1974), en investigación sobre fertilización de trigo para el municipio de Galeana, N.L. 1972, probó 11 tratamientos generados de combinaciones de cinco niveles de N de la fuente sulfato de amonio (33.5% N) (0, 40, 80, 120, 160 kg N/ha) y de fósforo de la fuente superfosfato de calcio triple (46% de P_2O_5) tres niveles (0, 50 y 80 kg P_2O_5/ha) y dos niveles de K de la fuente cloruro de potasio (60% K_2O) a (0 y 40 kg k/ha). La aplicación del fertilizante fue al voleo, sobre la variedad Pelón colorado a una densidad de 120 kg/ha. No se encontró diferencia significativa en los rendimientos de grano, ni paja, ni en relación grano/paja para

los diferentes tratamientos. (77).

Camacho Galván, J. (1974) trabajó con fertilización en el cultivo de sorgo (*Sorghum vulgare*, Pers.) en el municipio de Anáhuac, N.L. (1974), probando ocho tratamientos generados de cuatro niveles de N de (0, 50, 100, 150 kg N/ha) de la fuente 18-46-0 y cuatro niveles de "P" (0, 46, 96, 138 kg P/ha) de la fuente superfosfato de calcio triple (46% P_2O_5). El N faltante se suplementó con urea (46% N). La respuesta observa alta significancia de los tratamientos sobre el rendimiento, encontrándose el máximo con 100 kg N/ha siendo al mismo tiempo el óptimo. Para el P el óptimo fue a 46 kg P/ha acompañado de 100 kg N/ha. A 150 kg de N/ha ya no incrementó el tamaño de la panoja solo la altura de planta. Para el P a 46 kg de P/ha se incrementó la altura pero a 138 kg/ha el tamaño de panoja. (17).

Oria Ramos, P.R. (1975), probó el efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en el cultivo de trigo de riego en el ejido el pinto, municipio de Hualahuises, N.L. invierno (1971-1972), utilizando la variedad Lerma Rojo, bajo el diseño experimental bloques completos al azar. Como fuente de "N" se usó nitrato de amonio con cuatro niveles (0, 50, 100, 150 kg N/ha en presencia de 50 kg P/ha fijos) para P superfosfato de calcio triple (40% de P_2O_5) con cuatro niveles (0, 50, 75, 100 kg P/ha en adición de 100 kg de N/ha) y un testigo absoluto (00, 00). Los resultados reportan que existe efecto altamente significativo sobre el rendimiento de grano y paja de tal forma que a 50 kg N/ha se incrementó a 830 kg sobre el testigo. Para P solo no tuvo efecto sobre el testigo, pero en N sin P si tuvo respuesta significativo de 490 kg de grano sobre el testigo absoluto. En relación a paja el efecto del N fue hasta 100 kg/ha, generando un incremento de 2.82 ton/ha sobre el testigo. Para P la significancia se dio a 50 kg incrementando el rendimiento de 1.94 ton/ha de paja sobre el testigo. (70).

Huerta Flores, R. (1976), investigó la fertilización en girasol (*Helianthus annus*), bajo cuatro niveles nitrogenados y fosfatados en la hacienda "la cáscara" municipio de Montemorelos, N.L. en el año de 1973. Los resultados no reflejaron diferencia significativa ni sobre el rendimiento, porcentaje de grasa ni en el porcentaje de proteína

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

del grano. (49).

Garza Garza, M.A. (1976), experimentó con fertilización nitrogenada y fosfórica en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) de riego en el zona de Cadereyta Jiménez, N.L. (1972), en el rancho "Santa Isabel" km 12 Cadereyta-Allende, aplicó cinco niveles de N (0, 40. 80. 120, 160 kg N/ha de la fuente nitrato de amonio (33.5% de N) y tres niveles de "P" (0, 80, 120 kg P/ha de superfosfato de calcio triple (46% de P_2O_5), ninguna aplicación de k sobre la variedad NL-VS-1; aplicándose 1/3 de N y 100% de P a la siembra y las 2/3 partes de N a la primera escarda. Los resultados reflejan diferencia significativa de los niveles de N y P fijo de 40 kg/ha sobre el rendimiento, y altamente significativa a 80 kg/ha incrementó 844 kg/ha el rendimiento sobre el testigo mientras que 40 kg P/ha solo no reportó diferencia significativa sobre el rendimiento contra el testigo. (41).

Galicia González, S. (1978), prueba diferentes niveles de fertilización nitrogenada y fosfatada en el cultivo de sorgo para grano (*Sorghum vulgare* P.) en la región de Gral. Escobedo, N.L. (19~6), ciclo temprano 20 de marzo, usando la variedad Master 911, con 13 tratamientos seleccionados de un cuadrado doble, con cinco niveles de N (0, 40, 80, 120, 160 kg N/ha) y cinco niveles de P (0. 20, 40, 60, 80 kg P/ha). La respuesta revela que a 80 y 160 kg N/ha rindió 2,519 y 4,276 kg/ha más que el testigo. Con P a 40 y 120 kg/ha el incremento fue 140 y 214 kg/ha sobre el testigo. El tratamiento con mayor rendimiento fue (120-20-00) dando 2,769 kg/ha sobre el tratamiento (00, 00, 00). Con respecto a paja no se reportaron diferencias significativas entre tratamientos. (35).

Verastegui Chávez, J. (1980), experimentó fertilización entre dos variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) a dos densidades de población, en General Terán, N.L. (1978), las variedades fueron (Citaño y Delicias) densidades (120,000 y 150,000 pl/ha) y (0 y 50 kg N/ha) y (0, y 50 kg P/ha) dentro de un bloque completos al azar, y arreglo de tratamientos factorial con confusión total de la interacción de alto orden. El experimento se efectuó en el ejido "La Purísima", ciclo tardío. Se encontró diferencia altamente significativa para todos los factores siendo los mejores (variedad

Citaño) densidad (150,000 pl/ha) y fertilizantes (50 kg N/ha y 50 kg P/ha). La interacción de 1er orden variedad por densidad fue altamente significativo, y variedad por nitrógeno significativa; asimismo, hubo alta significancia para la interacción triple o de 2do orden variedad por fósforo por nitrógeno (VPN). (111).

Villarreal Guajardo, A. (1980), en su experimento fertilización nitrógeno-fosfórico en el cultivo de sorgo (*Sorghum vulgare*), en el municipio de Gral. Bravo, N.L. (1978) se probaron cinco niveles de N (0, 40, 80, 120, 160 kg N/ha) usando como fuente urea (46% de N) y cinco niveles de P (0, 30, 60, 90, 120 kg P/ha) de fuente superfosfato de calcio triple (46% de P_2O_5) sobre la variedad "Master Gold" sembrada el 18 de marzo de 1980, a una densidad de 14 kg semilla/ha. Se fertilizó el 9 de abril con la mitad del N y todo el P y el 1º de mayo se aplicó el resto del "N" antes del 1er riego de auxilio, aplicado en bandas. No se reportó diferencia significativa en las diferentes variables ni para factores individuales ni la interacción. (112).

Martínez Villarreal, M.A. (1980), probó el efecto de la fertilización nitrogenada en zacate estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) bajo condiciones de riego en el municipio de Villa de García(1979). Se probaron zacate estrella africana (*Cynodon plectostachyus*) y zacate bermuda (*Cynodon dactylon*) a cinco niveles de N (0,40, 80, 120 y 160 kg de N/ha) siendo la fuente el sulfato de amonio (35.5 de N). No se expresó diferencia significativa sobre el rendimiento en los seis cortes pero si en el contenido de proteína contra el testigo (00-00-00). (62).

Mora Castillo, M.R. (1982), probó niveles de fertilización nitrogenada y tiempos de aplicación en el cultivo de maíz de riego para grano en el municipio de Marín, N.L. (1982), en un diseño bloques al azar dentro de parcelas divididas y probando cuatro niveles de N (0, 50, 100, 150 kg N/ha y 40 kg P fijo) de fuente nitrato de amonio y superfosfato simple, con tres tiempos de aplicación de N (1/3 - 2/3), (1/2, 1/2) y (1/3, 1/3, 1/3), en la siembra, escarda y floración. No hubo efecto de los niveles de N sobre el rendimiento. Si hubo diferencia significativa sobre el porcentaje de N total después de 64 días de la germinación por los

niveles de N aplicado, no hubo respuesta para los tiempos de aplicación. La no respuesta muy probablemente se debió a la no asimilación del elemento debido a pérdidas por volatilización. (6).

Alcántara Tellez, A.S. (1983), trabajó con dosis de fertilización nitrogenada bajo diferentes densidades de siembra en el cultivo de trigo (*Triticum vulgare*) sembrados en surcos (1981), campo experimental de Marín, N.L. sobre un diseño bloques al azar, dentro de parcelas divididas colocando cuatro niveles de N factor b en parcelas chicas (0, 60, 120 y 180 kg N/ha) de fuente nitrato de amonio (33% N) y con fosfato constante a 40 kg P/ha de fuente superfosfato de calcio triple (46% P) en parcela grande densidades (120, 140, 160 y 180 kg semilla /ha), se sembró del 13 al 27 de diciembre 1981, a chorrillo y doble hilera sobre el lomo del surco. usando la variedad Paron F-76; el 50% de N se aplicó a la siembra y el resto al final de amacollamiento, y todo el P a siembra. No se presentó diferencia significativa de los factores ni de la interacción sobre el rendimiento y variables estudiadas. La no respuesta se puede atribuir a altas temperaturas durante el ciclo y volatilización del N, así como maduración acelerada del cultivo. (4).

Gallegos Valenzuela, I. (1984), probó fertilización nitrogenada y densidad de población en el cultivo de sorgo para grano (*Sorghum vulgare* Pers.), en Marín, N.L. (1984) en el campo experimental de Marín, N.L. utilizándose el híbrido de cruza simple "Asgrow Topaz", bajo un diseño bloques incompletos al azar con arreglo en parcelas divididas. Dentro de parcela grande se acomodó niveles de densidad (150,000; 190,000, 230,000 y 270,000) en parcela chica dosis de "N" (0, 50, 100 y 150 kg N/ha de fuente nitrato de amonio 33.5% de N) usando 50 kg de P/ha constante de fuente superfosfato simple con el (20% de P_2O_5) aplicándose el 50% de N y total de P a la siembra y el resto de N al aporque. Se midieron las variables; rendimiento de grano, altura final de la planta, altura de hoja bandera, altura a la excreción diámetro de la parte media del tallo, longitud de la panoja, longitud de excreción área folear y contenido de P en la hoja media. No se encontró respuesta sobre ninguna de las variables por los diferentes niveles de "N" ni por densidades. Solo se presentó

respuesta significativa para materia seca de forraje por el factor densidades, presentándose el mejor rendimiento a 270.000 plts/ha con 150 kg N/ha con una producción de 9,209 kg/ha. (36).

Caballero Delgado, C.H. y J.L. Pérez Tello (1986), trabajó en fertilización con nitrógeno y fósforo en presencia de algunos micronutrientes en el cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor*) bajo riego en Marín, N.L. (1985), se probaron cinco niveles de nitrógeno (00, 90, 100, 120 y 140 kg N/ha aplicando urea) y cuatro de fósforo (0, 40, 50 y 70 kg P/ha) de superfosfato de calcio triple (46%), todo en presencia o ausencia de zinc, fierro, y magnesio, de un producto comercial (fenziquel) que contiene 1.9% de Fe metálico, 1.2% de Zn metálico 0.3% de Mg metálico, 0.03% de boro y 0.4 g/l de fitohormona, que se recomienda 1/100 l de agua/ha. Esto se aplicó bajo un diseño bloque al azar con arreglo en parcelas divididas, colocando en parcela grande dos niveles de micronutrientes (ausencia y presencia) y en parcela chica niveles de "N" (00, 90, 100, 120, 140 kg N/ha) fuente urea 46% y cuatro de "P" (00, 40, 50 y 70 kg P/ha) y superfosfato de calcio triple (46%), con tres aplicaciones foleares a partir de la floración por semana de fitohormona a 1/3 de N a la siembra y "P" total y el resto de N al aporque. No se encontró diferencia significativa de los tratamientos sobre las variables número de plantas por parcela útil, plantas totales, materia seca y rendimiento. El análisis folear no detectó diferencia significativa del contenido de N, Mg, Fe, lo que indica que el N absorbido por las plantas fue igual. Sin embargo, si hubo diferencia significativa por "P" y Zn" en parcelas grandes siendo las medias máximas de "P" (2,257.19 y 2,251.17 ppm) y las medias de Zn (20.74 y 16.82 ppm) en presencia y ausencia de micronutrientes respectivamente. El fierro y zinc no ayudaron a incrementar el potencial nutritivo de la planta. (16).

Durón Alonso, A. (1987), en fertilización nitrogenada al suelo y follaje en el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) Marín, N.L. (1983), ciclo primavera-verano, bajo un diseño bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas, con modalidades de aplicación en parcela grande (100% aplicación al suelo y 50% folear con 50% al suelo y 100% folear) y en parcela chica niveles de "N" y

"P" (0, 25, 50, 75, 100 kg de N y P). El P se aplicó el 100% a los 35 días de siembra, así como el 100% de N al suelo para 50% de N suelo igual que el P y el resto folear a los 43 días de emergencia a concentración constante del 6% (6 kg de N para 100 l de agua). Los resultados reflejan diferencia significativa entre las formas de aplicación parcela grande sobre el rendimiento pero no para los niveles o formulación parcela chica. Tampoco hubo efecto de la interacción. (30).

Molina Guel, G. (1988), experimentó el efecto de diferentes niveles de fertilización nitrogenada y fosfórica en la producción y calidad de bulbo de cebolla (*Allium cepa* L.) variedad "Eclipse L-303" en el municipio de Marín, N.L. (1985-1986), ciclo otoño-invierno, evaluándose el peso y diámetro del bulbo, utilizándose un diseño bloques incompletos al azar, con arreglo de tratamientos de acuerdo a la matriz plan Puebla 1, se probaron cuatro niveles de "N" de fuente urea (46% N) (0, 75, 150, 225 kg N/ha) y cuatro de "P" de fuente superfosfato de calcio triple (46% P) (00, 40, 80 y 120 kg P/ha) dando un total de ocho tratamientos y aplicando la mitad de N y todo el P al momento de trasplante y la otra mitad a la formación del bulbo. No hubo diferencia significativa de los tratamientos sobre el rendimiento y demás variables. El no aprovechamiento de los elementos es muy probable sea debido a la pérdida por volatilización del "N" y a la insolubilización y fijación del P, por condiciones favorables para ello de el suelo y clima durante la aplicación y desarrollo del cultivo. (66).

Acosta Díaz, D. (1989), investigó fertilización nitrogenada y fosfórica en la variedad Ranchero de maíz (*Zea mays* L.) ciclo P-V de (1987) en el municipio de Marín, N.L. para lo cual utilizó un bloque al azar en parcelas divididas, acomodando en parcela grande épocas de aplicación (a la siembra, 40 días después, floración) y en parcela chica 3 dosis de N (0, 150 y 200 kg N/ha) con urea como fuente (45% N). No hubo efecto significativo de los tratamientos para rendimiento y otras variables solo significancia para diámetro de mazorca, número de hileras, e índice de grano. La no respuesta probable puede ser por pérdidas del "N" por volatilización debido a altas T°. (1).

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

Serrato Torres, C. (1989), en su trabajo fertilización nitrogenada en la variedad Tecmon-1 de girasol (*Helianthus annuus* L.) usó un diseño bloques al azar con parcelas divididas, colocando en parcela grande época de aplicación (siembra, 40 días después, floración) y en parcela chica tres niveles de "N" (0, 150, 200 kg N/ha) de fuente urea 46% N). No se observó diferencia significativa de ningún factor individual ni la interacción sobre el rendimiento y demas variable, encontrándose significancia solo para número de semillas por capítulo. La no respuesta a la fertilización es muy probable a pérdidas del N por volatilización, desnitrificación o inmovilización a causa de las temperaturas y características del suelo de la región. (101).

Corona López, M. (1989), evaluó la respuesta a la fertilización de dos variedades de sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] de doble propósito bajo condiciones de riego y temporal en Marín, N.L. (1988), ciclo primavera-verano. El experimento de riego dentro de bloques al azar en arreglo en parcelas divididas con cuatro repeticiones y seis tratamientos: en parcela grande dos variedades (SPV-475(V1) y 5PV-351(V2) en parcela chica tres niveles de "N" (0, 80 y 120 kg N/ha) de fuente urea (46% N), aplicando 25% a siembra y 75% al 1er cultivo. Experimento 2 temporal diseño bloques al azar con cinco repeticiones y cuatro tratamientos originados de dos variedades y dos niveles de "N" (0 y 80 kg N/ha) aplicado al 1er cultivo. Los objetivos fueron evaluar rendimiento en grano y forraje (fresco y seco) de las variedades al nitrógeno y el contenido y absorción de macro y micronutrientes en grano y forraje en ambos experimentos. Resultados riego no hubo respuesta significativa sobre el rendimiento por efecto de fertilización, solo entre variedades siendo la más rendidora en grano SPV-475. El cultivo tuvo deficiencia de N, P, Zn y contenido normal de Mg, Mn, Cu y exceso de K. Se observaron diferencias entre la absorción de nutrientes P, Mg, Zn a diferentes niveles de "N" en riego. teniendo mayor absorción a 80 kg N/ha y en el nivel de 120 kg N/ha se absorbió más zinc. En temporal se observaron diferencias significativas en la absorción de P y N en grano y forraje. (21).

Sánchez Alejo, E.J. (1989), estudió la dinámica de la urea y sulfato de amonio en suelos calcáreos del estado de N.L. utilizando

el "N" de éstas fuentes en tres dosis (0, 150, 300) Mg de Ng^{-1} de suelo) en laboratorio sobre tres suelos calcáreos de N.L. provenientes de sitios (Allende) y C.A.E.-Marín y de Ancón de Río de ambos municipios, trabajó en cinco fases: hidrólisis de la urea, fijación de amonio, nitrificación de los fertilizantes, volatilización del amoníaco y ensayo de invernadero. Para hidrólisis de urea se aplicó 0, 150 y 300 mg^{-1} de N g^{-1} de suelo se observó uno, dos, cuatro y ocho días. Para fijación, volatilización de amonio, y nitrificación de fertilizante se usaron dosis de (0, 75, 150 Mg de Ng^{-1}) uno, dos y cuatro semanas después de aplicación. En ensayo de invernadero se aplicaron (0, 75 y 150 Mg de Ng^{-1}) durante de urea y sulfato de amonio, sobre cultivo de sorgo (LES 88 R), manteniendo el suelo a 80% de C.C. capacidad de campo y temperatura promedio de 20°C. Resultados: se encontró que los suelos hidrolizan rápidamente la urea, con valor máximo a 48 h. Los dos suelos presentan capacidad de fijar un porcentaje considerable de las dosis de "N" aplicados. En el ensayo de invernadero el rendimiento de M.S. de sorgo se restringió por efecto toxicidad salina, debido a acumulación de amoníaco que reduce la transformación de NH_4 a $N\text{-}NO_3$. Las plantas toleran salinidad a 75 ppm de N por ajuste osmótico pero 150 ppm resultan tóxicos. Así el rendimiento de sorgo puede incrementar a dosis ($\leq$ 75 ppm de N) de sulfato de amonio y urea con prácticas de manejo que reduzca el efecto tóxico de amonio acumulado sobre las bacterias nitrificantes. (93).

Rodríguez Márquez, J. (1990), probó niveles de fertilización en avena (*Avena sativa* L.) en el campo experimental de ITESM en Apodaca N.L. bajo un diseño bloques al azar en parcelas divididas, colocando en parcela grande niveles de N y en chica cortes. Variables a medir: peso verde y M.S. días de corte, tamaño de planta al corte. Conclusión: no hubo diferencia significativa de la fertilización sobre las variables en los dos cortes de avena. (88).

Gaytán Bazaldua, H. (1990), en trabajo de fertilización nitrogenada folear y al suelo y fosfatada al suelo para maíz (*Zea mays* L.) en Marín, N.L. (1988) ciclo otoño-invierno, usándose el diseño bloques al azar en parcelas divididas acomodando en PG modalidades de aplicación (todo al suelo; 50% suelo y 50% folear) y

en PCH formulaciones (0, 25, 50 y 75 kg N/ha y para P = 0, 30, 60, 90 kg/ha) generados del plan Puebla 1. Las aplicaciones al suelo fueron a los 66 días de siembra, y al follaje fueron al 6% = 6 kg/100 l agua. Los resultados fueron significativos para formulaciones sobre las variables número de elotes de segunda clase, y peso de elotes sin espata. Para modos de aplicación hubo significancia para la variable peso de forraje verde. Para las demás variables no hubo efecto de modalidades ni de formulaciones (42).

García González, G. (1991), investigó el efecto de la densidad de población y de la fertilización nitrogenada sobre el comportamiento y calidad del forraje de Mijo perla [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke] y sorgo (*Sorghum vulgare* Pers.) bajo riego durante el otoño (1988) dentro de un diseño bloques al azar con arreglo en parcelas divididas con tres densidades en P.G. (100,000, 175,000 y 250,000) y en P.Ch. un factorial 4 x 2 (cuatro genotipos por dos niveles de N; 0 y 100 kg N/ha). Resultados: 1) No hubo diferencia significativa sobre el rendimiento de forraje por las diferentes densidades pero sí sobre la calidad ya que a > densidad disminuye lignina y fibra. 2) No hubo respuesta de la fertilización sobre el rendimiento de forraje verde o seco. (39).

Díaz Hernández, R. (1991), investigó el efecto del azufre sobre la nitrificación de los fertilizantes nitrogenados en suelos de Marín, N.L. (1991). La hidrólisis de la urea provocada por el pH alcalino de los suelos calcáreos de Marín es la limitante más importante de los cultivos para "N" proveniente de esta fuente una de las medidas para solucionar este problema es la aplicación de azufre para retardar la hidrólisis de la urea o en su defecto el uso de fertilizantes de residuos ácido como sulfato y nitrato de amonio. Se probaron tres fuentes de N (urea, sulfato, nitrato de amonio) con 0 y 20 meq de S/100 g suelo a 80% de C.C. capacidad de campo a T° ambiente, durante 4, 8 y 16 días. La mayor acidez se produjo con sulfato y azufre por formación de sales con el carbonato de calcio. El efecto ácido retardó la hidrólisis de la urea de 36 a 96 hr, aumentando la permanencia del $N\text{-}NH_4^+$ en el suelo. La permanencia fue en orden sulfato de amonio-urea-nitrato de amonio en presencia de azufre. En resumen la nitrificación de las fuentes de "N" fue menor

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

en presencia de azufre porque ésta inhibe la formación de NO_3. (29)

Albalate y de Alba, J.F. (1992), probó el efecto del azufre sobre el nitrógeno fertilizante en suelos calcáreos de Marín, N.L. (1992). La rápida hidrólisis de la urea provocada por altas concentraciones de carbonatos de calcio, provoca pH alcalinos generando baja disponibilidad de nutrientes para plantas "N". Se probaron por una, dos y cuatro semanas dosis (0, 20, 160 y 320 meq S/100 g de suelo de Marín, sobre rendimiento de sorgo. Las fuentes fertilizantes (sin N, urea, sulfato de amonio y nitrato de amonio en dosis de 0 y 150 kg N/ha) y 20 meq S/100 g de suelo sobre rendimiento de sorgo forrajero. Se encontró que a 20 meq S/100 g de suelo reduce el pH a neutralidad en dos semanas. El mayor rendimiento de M.S. y productividad se logró con urea independientemente de aplicación de azufre o no. (3).

De todas estas referencias bibliográficas es evidente que en todos los casos en que la fertilización nitrogenada y fosfórica no reportaron efectos significativos influyen algunos factores como son: pérdidas por volatilización del "N" (suelos alcalinos, calientes y secos), fijación del N, hidrólisis (toxicidad) en suelos calcáreos de las fuentes nitrificantes amoniacales (urea, sulfato y nitrato de amonio), nitrificación de fertilizantes (pérdidas por lixiviación) y desnitrificación (suelos calientes y encharcados).

Para el P las limitantes son su poca movilidad, que se torne no disponible al invertirse o fijarse como fosfatos de Ca, Fe o Al, y que del fósforo aplicado solo se aprovechan del 25 a 30% .

Para nuestro trabajo específico fertilización nitrogenada y fosfórica de maíz criollo variedad blanco olote colorado en riego, y con riego limitado el suelo cuenta con pH cercano a las neutralidad, ligeramente alcalino, tuvimos H° adecuada para riego y faltante para riego limitado. Con T° promedio altas propias para el desarrollo del cultivo pero que generan una evaporación mucho mayor que el agua precipitada durante el ciclo. El suelo no es salino, ni calcáreo, con contenido de N (medio), fósforo (alto) y potasio (muy rico). El agua de riego fue de salinidad media, baja en sodio.

III. MATERIALES Y METODOS

A. DESCRIPCION DE LA ZONA EXPERIMENTAL

1. Localización

El presente trabajo de fertilización nitrogenada y fosfórica en la variedad de maíz criollo (blanco olote colorado) tanto en riego como con riego limitado se llevó a efecto en el ejido San Rafael municipio de Linares, N.L., ubicado en las coordenadas siguientes: 24° 48' de latitud norte, y 99° 34' longitud oeste, a una altura de 394 msnm. Esta zona de influencia forma parte de la región fisiográfica "Llanura Costera del Golfo" muy cerca e influenciada por la región de la Sierra Madre Oriental, y asimismo, de las ocho regiones económicas de México integra la no VII noreste (Nuevo León y Tamaulipas) y dentro del estado de Nuevo León (N.L.), se ubica en la región IV sureste citrícola, siendo el municipio de Linares el mayor productor de maíz y frijol así como ganadero de la región (32, 59, 95).

2. Clima

En base a la ubicación de la zona experimental, se ubica dentro de la zona templada, pero considerando sus coordenadas, altura y precipitación media anual, ubicación dentro de la región fisiográfica llanura costera del Golfo pero muy influenciada por la región de la Sierra Madre Oriental se considera el clima de tipo [(A) C] semicálido (templado cálido) que predomina en las partes aledañas al margen oriente de la Sierra Madre Oriental según la clasificación de Köppen (32, 59, 116).

3. Humedad

En base a el clima de la región de influencia semicálido [(A) C] es más húmedo que los climas secos y menos caluroso también, por lo que las lluvias son más abundantes que dichos climas, fluctuando

entre 700 y 1,200 mm, de precipitación anual, con un promedio cerca de los 1,000 mn, así de acuerdo a la estación meteorológica de la SARH ubicada en el ejido Vista Hermosa, anexo al ejido San Rafael reportó 938 mm de lluvia durante 1984. La vegetación es de arbustos que prácticamente, cubren el suelo de las regiones donde se presenta. Linares queda dentro de la distrito de temporal No. 1 en Nuevo León, y a su vez dentro de la segunda unidad dentro del dicho distrito con jefatura en Linares. (67, 68, 70, 74).

4. Suelo

El suelo es de color gris oscuro (seco) y gris muy obscuro (húmedo) su reacción (relación-suelo-agua 1:2) pH 7.40 ligeramente alcalino. Su textura es arcillosa con una relación (arcilla 54.68, limo 28.00 y arena 17.32%), un contenido de materia orgánica con 3-10% (rico), de nitrógeno total 0.155 (mediano) y de fósforo aprovechable 122.7 ppm (muy alto) y de potasio aprovechable 462.09 kg/ha (extremadamente rico), con respuesta a sales solubles totales posee de conductividad eléctrica 1.0 mmhos/cm a 25°C por lo que es (no salino), por el contenido de carbonatos, no es un suelo calcáreo pues posee solo 0.5% de ellos, libre de fijación de P por compuestos cálcicos. (Cuadro 36).

El agua utilizada para el riego de este suelo pose la siguiente características: una conductividad eléctrica de ($CEX10^6$ a 25°C) de 750.0 por lo que se considera de salinidad media, con pH (7.1), Ca 6.0 me/l, Mg 1.2 me/l, Na 0.3 me/l, K - me/l, suma de cationes 7.5 me/l, CO_3 0.0 me/l, HCO_3 0.6 me/l, Cl 0.75 me/l (buena), SO_4 6.10 me/l, NO_3 - me/l, suma de cationes 7.5 me/l, S.E. salinidad efectiva 1.5 me/l (buena), SP salinidad potencial 3.8 me/l (condicionada), RAS relación adsorción sodio 0.15 me/l (baja en sodio), CSR carbonato de sodio residual 0.0 me/l (buena), PSP porciento de sodio probable 20.0 me/l (bueno), S en ppm -, clasificación C_2S_1 (agua de salinidad media, baja en sodio). (Cuadro 37). (38, 53, 105).

B. MATERIALES

1. Variedad

Para esta investigación se utilizó una variedad criolla propia de la región llamada (maíz blanco olote colorado) de ciclo intermedio. En una muestra de 20 mazorcas se encontró que tres, son de olote colorado lo que da un 15% del total, característica que le da su nombre. El grueso del olote varió de 2.5 cm a 3.6 cm con un promedio de 3.14 cm, grueso de la mazorca fluctuó de 4.5 cm a 5.6 cm con una media de 5.14 cm, el número de carreras comprendió de 10 (2), 12 (10), 14 (7), 16 (1) dominando la moda de 12 carreras. El número de granos por carrera cambió de 32-37 por par de carreras hasta 50-49. La longitud total de la mazorca varió de 14.5 cm mínimo, hasta un máximo de 22.5 cm con un promedio de 17.72 cm. Para efecto de desgrane de la mazorca se presentaron suaves, correosas y muy correosas y en cuanto a dureza del grano hubo mazorcas de grano suaves, intermedios y duros. El color dominante del grano es blanco. Con respecto al peso de la mazorca se muestrearon 10 mazorcas dando un peso global de 2.5 kilos en mazorca correspondiendo al peso del olote a .5 kg equivalente a un 20% del total y el resto al grano e igual a 2.0 kg dando el 80% del global. El número de granos por mazorca varió de 444 a 672. El peso de 100 granos de semillas (plano grande, medio y chico) fue igual a 25 g, mientras que de 100 granos de bola grande y bola chica, solo pesó 10 g.

2. Fertilizantes

Como fertilizante nitrogenado se utilizó urea (46% N) y como fuente fosfórica superfosfato de calcio triple (46% P_2O_5). (20, 38, 105).

3. Otros Materiales

Aquí se consideran todos aquellos materiales necesarios para preparar el terreno, diseñar el experimento, siembra, riego,

deshierbes, control de plagas toma de datos, etiquetado, riego, cosecha, desgranado y evalución, como son: tractor, rastra, teodolito azadones, machete, rozadera (hoz), botes (usados como salero), etiquetas, cal, pintura, madera, pinceles, cinta de medir metálica, arado y cultivadora de tracción animal, máquina para desgranar, hilo, cámara, insecticida, libreta de campo, lápiz, romana o balanza, estacas con la identificación de los tratamientos y su respectivas repeticiones, tanto para riego como para riego limitado.

C. METODOS

1 Dimensiones del Area Experimental

La unidad experimental (parcela) se integró de seis surcos de 76 m de ancho por 10 m de largo, por lo que el área total se obtiene multiplicando el ancho de parcela (76 cm x 6 = 4.56 m) por largo 10 m = 45.6 m^2 de área de parcela total. Para parcela útil se elimina 1 m de cabecera para quitar el "efecto de bordo", y dos surcos laterales uno de cada lado para eliminar el "efecto de orilla" quedando cuatro surcos de 76 cm de ancho (3.04 m) por 8 m de largo que da igual a (24.32 m^2) de "parcela útil". Cada bloque se integra por 10 parcelas de 45.6 m^2 dando una superficie de bloque de 456 m^2 y total de bloques igual 456 m^2 x 4 repeticiones = 1,824 m^2 más cabeceras laterales igual a 45 x 2 = 90 m^2 así como el área de regaderas o andadores igual a 45.6 x 5 dando una superficie de 228.00 m^2 por lo tanto el total de experimento de riego es equivalente a 1,824 m^2 bloques + 90 m^2 de cabecera + 228.00 m^2 de andadores o regaderas da un total de = 2,142 m^2 de superficie experimental para el experimento de riego lo que se acerca a un cuarto de ha. Las dimensiones para el experimento de temporal son exactamente iguales lo que da un total para los dos experimentos de 4,284 m^2. (Figura 1 y 25). (19, 25, 61, 72, 80).

2. Croquis del Experimento

El trabajo experimental se integra de dos experimentos donde

cada uno de ellos conlleva cuatro bloques (repeticiones) perpendiculares a la fuente de variación (pendiente) en orientación de oriente a poniente, y conformados por 10 unidades experimentales (tratamientos) cada uno lo que da un global de 40 observaciones en cada experimento. Los croquis de los experimentos lo podemos observar en las Figuras 1 y 25. (19, 25, 61, 72, 80).

3. Tratamientos y Diseño Experimental (Modelo)

a) Los tratamientos. Surgen de un arreglo factorial simétrico 4 x 4 donde el factor A es (N) con cuatro niveles (00, 70, 140, 210 kg N/ha), y el factor B es (P) con cuatro niveles (00, 30. 60. 90 kg de P_2O_5/ha). Las combinaciones de los niveles de los dos factores producen el arreglo de tratamientos o factorial igual a 16 combinaciones (tratamientos) que son: (19, 25, 61, 72, 80).

Tratamientos	(N	P_2O_5)	Probados	Tratamientos	(N	P_2O_5)	Probados
1	00	00	(9)[1]	9	140	00	( )
2	00	30	(1)	10	140	30	(5)
3	00	60	-	11	140	60	(6)
4	00	90	-	12	140	90	(7)
5	70	00	(2)	13	210	00	-
6	70	30	(3)	14	210	30	-
7	70	60	(4)	15	210	60	(8)
8	70	90	-	16	210	90	(10)[1]

[1] Tratamientos adicionados a la motriz Plan Puebla original.

De estas combinaciones de acuerdo con el diseño o arreglo especial o superficie de repuesta (Matriz Plan Puebla 1) para dos factores nos determina ocho tratamientos de la superficie de respuesta a la que agregamos dos combinaciones con los mínimos y máximos de los niveles de los factores probados dando un total de 10 tratamientos que fueron ensayados en el campo. (45, 63, 90, 107, 108, 110, 114, 119).

De tal forma que los tratamientos probados en el campo para el experimento 1 fueron los siguientes:

Tratamiento	N	P	Tratamiento	N	P
1	00	30	6	140	60
2	70	00	7	140	90
3	70	30	8	210	60
4	70	60	9[1]	00	00
5	140	30	10[1]	210	90

[1] Tratamientos adicionados a la matriz Plan Puebla original.

Para el experimento 2 o de "riego limitado" se probaron los mismos factores A igual a (N) con cuatro niveles pero ahora con (00, 40, 80, 120 kg N/ha) y para el factor B o P los mismos niveles de riego (00, 30, 60, 90 kg P_2O_5/ha) la superficie de respuesta de Plan Puebla 1 para dos factores nos da ocho tratamientos más las dos combinaciones con niveles mínimos y máximos de los factores de tal forma que los 10 tratamientos probados fueron los siguientes:

Tratamiento	N	P	Tratamiento	N	P
1	00	30	6	80	60
2	40	00	7	80	90
3	40	30	8	120	60
4	40	60	9	00	00
5	80	30	10	120	90

b) Diseño Experimental (modelo estadístico). Estos tratamientos se probaron para los dos experimentos dentro de un diseño básico experimental "bloques completos al azar" con un total de cuatro repeticiones (bloques) dando un global de 40 observaciones o unidades experimentales en todo el experimento. El uso de bloques se justifica por diferencias de pendientes de norte a sur dentro del área de la prueba por lo que se optó por elegir el bloqueo como una técnica estadística para disminuir el error por pendiente (bloqueando en forma perpendicular a la fuente de variación).

El modelo estadístico es el siguiente:

$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$

Donde: $i = 1, 2, \ldots\ldots\ldots\ldots t = 10$ $E_{ij} \sim NI(0, \sigma^2)$

$j = 1, 2, \ldots\ldots\ldots\ldots r = 4$

$tr = 40$ observaciones (unidades experimentales)

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

Yij = Es el efecto de la observación asociada al i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque.

μ = Es el verdadero efecto medio o la media general.

Ti = Es el verdadero efecto del i-ésimo tratamiento.

Bj = Es el verdadero efecto del j-ésimo bloque.

Eij = Es el verdadero efecto del error experimental asociado a la unidad experimental que recibe el i-ésimo tratamiento en el j-ésimo bloque.

Los tratamientos fueron distribuidos completamente al azar (aleatorizados) dentro de cada bloque (repetición), con el propósito de evitar errores sistemáticos, quedando distribuidos en la forma como lo muestra el croquis de los experimentos en las Figuras 1 y 25. (19, 25, 61, 63, 72, 80).

El modelo para análisis de covarianza en bloques completos al azar es:

$$Yij = \mu + Ti + Bj + \delta(Xij - \bar{X}) + Eij$$

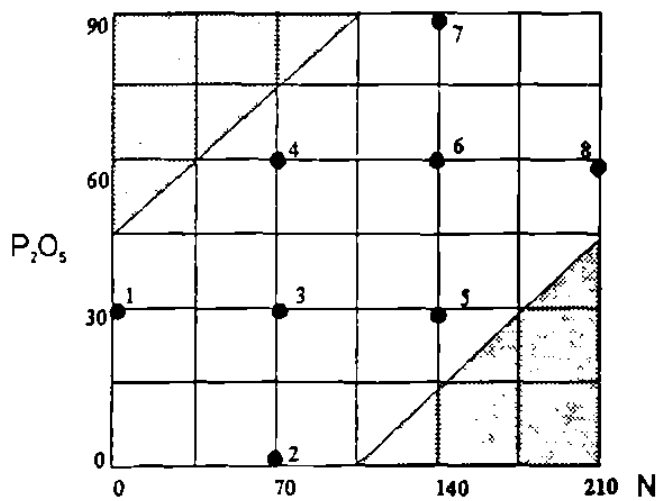
Donde todos los componentes ya fueron descritos y el modelo de regresión es:

δ = Coeficiente de regresión asociado a la covariable

Xij = Observación de la covariable en trat-i y Rep-j.

$\bar{X}$ = Media de las observaciones de la covariable X. (19, 25, 61, 63, 72, 80).

c. <u>La superficie de respuesta</u>. Para el Plan Puebla 1 para dos factores con N y P es la siguiente:



El modelo para el Plan Puebla 1 para dos factores:

$$Y_i = Bo + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_{11} X_1^2 + B_{22} X_2^2 + B_{12} X_1 X_2 + E_i$$

Donde: Y_i = En el valor observado i-esima unidad experimental para la variable estudiada

B_0 = Media general

X_1 y X_2 = Son las dosis de los factores N y P

B_j (B_1, B_2) = Es el coeficiente de regresión que representa el efecto lineal del factor j; [B_1 (N), B_2 (P)]

B_{jj} (B_{11}, B_{22}) = Es el coeficiente de regresión que representa el efecto cuadrático del factor j; [B_1 (N), B_2 (P)]

$B_{jj'}$ (B_{12}) = j diferente j' Es el efecto de la interacción entre los factores j (B_1 = N) y j' (B_2 = P) (45, 63, 90, 107, 108, 110, 114, 119).

D. DESARROLLO DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

1. Preparación del Terreno

Se llevaron a efecto dos rastreos un mes y quince días antes de la siembra así como el surcado del terreno para efectuar el riego de presiembra (seis días antes de la misma) que fue el día 28 de junio de 1984. Por otra parte los días 30 de junio y 1º de julio hicimos el levantamiento topográfico para determinar el porcentaje dependiente así como la orientación de la misma, lo que nos permitió determinar el diseño experimental básico y la orientación del riego.

2. Siembra y Aclareo

Esta se llevó a efecto los días 4 y 5 de julio de 1984, con arado de tracción animal y a tubo. Para los días 9 y 10 de julio se presentó agujeo del maíz y para el 11 y 12 se tuvo el 100% de brotación del cultivo. Bajo estas condiciones los días 16 y 17 cuadré los experimentos determinando la distribución de los mismos,

su bloqueo y los tratamientos correspondientes. Asimismo, se efectuó el aclareo de plantas procurando evitar 2, 3 o 4 plantas por punto.

3. Fertilización y Riegos

La fertilización razón de la prueba experimental se efectuó el día 17 de julio con 30% para N y 100% para el P en el experimento 1 de riego, para riego limitado se aplicó en la misma fecha con el 100% de N y 100% P las fuentes fertilizantes fueron: urea para N (46% N) y superfosfato de calcio triple (46% P) así para los niveles de N/ha y P/ha se necesitaron las siguientes cantidades de fertilizantes en el experimento de riego:

Niveles	Kg de fertilizante (urea)	Niveles de P	Kg fertilizante (SPCaT)
00 kg N/ha	00 kg F/ha	00 kg P_2O_5	00 kg F/ha
70 kg N/ha	152.17 kg F/ha	30 kg P_2O_5	65.21 kg F/ha
140 kg N/ha	304.34 kg F/ha	60 kg P_2O_5	130.43 kg F/ha
210 kg N/ha	453.52 kg F/ha	90 kg P_2O_5	195.65 kg F/ha

La segunda parte de fertilización nitrogenada se aplicó el 5 de agosto después del primer riego de auxilio.

Para el experimento de riego limitado cambiaron los niveles de nitrógeno (00, 40, 80, 120 kg N/ha) y para fósforo fueron los mismos. (18, 20, 34, 38, 55, 79, 105).

Niveles	Kg de fertilizante (urea)	Niveles de P	Kg fertilizante (SPCaT)
00 kg N/ha	00 kg F/ha	00 kg P_2O_5	00 kg F/ha
40 kg N/ha	86.95 kg F/ha	30 kg P_2O_5	65.21 kg F/ha
80 kg N/ha	173.91 kg F/ha	60 kg P_2O_5	130.43 kg F/ha
120 kg N/ha	260.86 kg F/ha	90 kg P_2O_5	195.15 kg F/ha

Los riegos fueron uno de presiembra (28 de junio), el primer riego de auxilio (2 de agosto), otro de riego de auxilio para el desarrollo vegetativo (28 de agosto), en prefloración (23 de septiembre) y llenado de grano 10 de octubre, mientras que para riego limitado solo un riego para el desarrollo vegetativo (17 de agosto) y otro en floración (3 de octubre) dos riegos menos que en experimento de riego para evitar pérdida total de la prueba experimental ya que el temporal fue difícil. De acuerdo al reporte meteorológico de la SARH estación (Vista Hermosa) ubicado cerca del

área experimental, durante el mes de julio hubo una precipitación de (60 mm), agosto (104 mm), septiembre (267 mm) y octubre (16 mm) lo que da un total de 447 mm de precipitación durante el ciclo pero se dio la siguiente evaporación: julio (166.76 mm), agosto (191.73 mm), septiembre (134.03 mm) y octubre (89.90 mm), que da un total de 582.42 mm evaporados (Cuadro 38) lo que refleja un faltante con respecto a el agua precipitada de 220.9 lo que implica que el ciclo fue difícil y requería riego para llegar al rendimiento o.producción de grano.

4. Labores de Cultivo

Antes de la primera labor cultural (escarda) se efectuó una limpia manual y con azadón de malas hierbas por surco y entre surcos los días 24 y 25 de julio de 1994, efectuándose después de esto el primer cultivo (escarda o cultivada) a través de una cultivadora de tracción animal, durante los días 28 y 29 de julio, labor de cultivo que sirvió para facilitar el primer riego de auxilio que fue el 2 de agosto. La segunda labor cultural fue el aporque desarrollado con arado o suipe con el propósito de remover el suelo, romper capilaridad, facilitar el riego y captación de agua de lluvia, eliminar nuevas malas hierbas, arropar la planta realizándose entre los 80 cm altura promedio los días 20 y 21 de agosto.

5. Plagas y Enfermedades

Durante el desarrollo de cultivo se manifestaron varias plagas, así durante la primera etapa de desarrollo vegetativo se presentó una fuerte infestación de gusano cogollero que tuvo que ser controlado con aplicación de insecticida (Aprocon 3-5-40 y DDT) por el método del salero, aplicando directamente al cogollo del vegetal durante los días 18 y 19 de julio la primera aplicación y repitiéndose el 28 y 29 del mismo mes. Otras plagas fueron gusano medidor, algo de trips, pulgones, trozador de la hoja, barrenador del tallo, y sobre fruto gusano elotero, plagas cuyo efecto sobre el cultivo no fue significativo. Asimismo, se tuvo ataque de aves en este caso por

cuervos y urracas que sí perjudicó de un 3% a 7% a pesar de tratar de controlar el ataque con espantapájaros y una persona que cuidó el cultivo. Algo de elote se perdió por robo.

Con respecto a enfermedades sólo se manifestó en algunas plantas carbón de la espiga y en muy pocas carbón común o huitlacoche, pero no fueron problemas de importancia.

E. TOMA DE DATOS

Para tomar datos base que permite evaluar las variables experimentales consideradas, se efectuaron tres muestreos para altura de planta y número de hojas (completas e incompletas) el 11 y 12 de agosto, 29 y 30 de agosto y 23 de septiembre midiendo 10 plantas por unidad experimental (cuatro altas, tres intermedias y tres bajas) todas con competencia completa. Por otra parte, en área folear se efectuó un muestreo el 23 de septiembre evaluando tres plantas por parcela útil de competencia completa a las que se le midió largo y ancho de todas sus hojas, ya con el área folear completa puesto que desde el muestreo 2 ya se había iniciado la floración de las primeras plantas. Finalmente, para las variables total de hojas secas 3, total de hojas completas 3, hojas arriba de la mazorca 3, hojas abajo de la mazorca 3, número de mazorca 3, se efectuó los días 22 y 23 de septiembre. Para rendimiento económico y rendimiento biológico se cosechó toda la parcela útil contando el total de plantas de la misma así como el número con mazorca y sin mazorca, determinando el número de plantas atacadas por cuervos y urracas. Posteriormente el día 17 de noviembre se pesó el manojo completo planta y mazorca correspondiente a cada tratamiento para cada repetición, obteniendo los valores para el rendimiento biológico 3, y paja 3 y para rendimiento económico se pesó exclusivamente el grano, la mazorca y el olote obteniendo datos para las variables peso de mazorca 4, peso de olote 4 y peso de grano 4. Cabe agregar que para todos los muestreos se tomó en cuenta el número de plantas por parcela útil ya que siempre existió diferencia de número de plantas tanto en parcela útil como en parcela total por lo que esta fuente de variación fue considerado como covariable para efectuar análisis de covarianza, así

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

como para peso de grano 4, peso de olote 4 y peso de mazorca 4 se consideró como covariable el número de mazorcas por parcela útil.

F. COSECHA

La cosecha se llevó a efecto durante los días 4, 5 y 6 de noviembre, tumbándose el maíz con hoz y/o rozadera y machete de la parte correspondiente de la parcela útil, manojeando todas las plantas y etiquetándolas, se recogieron y se dejaron secar hasta un 14% de humedad del grano, pesándose el manojo completo para rendimiento biológico el 18 de noviembre, posteriormente el día siguiente se piscaron los manojos de cada tratamiento, y se desgranaron con desgranadora manual, obteniendo el grano para rendimiento económico. El rastrojo se enmonó una parte y otra se engavilló. Además, el forraje y grano restante del experimento se cosechó de la misma forma.

G. VARIABLES EXPERIMENTALES Y ANALISIS ESTADISTICO

En base a los muestreos tomados y datos obtenidos las variables experimentales evaluadas fueron:

1. Rendimiento biológico.
2. Rendimiento económico.
3. Altura de la planta. (1, 2 y 3).
4. Area folear 3.
5. Número de hojas secas 3.
6. Número de hojas completas. (1, 2 y 3).
7. Número de hojas incompletas (1 y 2).
8. Número de mazorcas 4.
9. Número de hojas arriba de la mazorca 3.
10. Número de hojas abajo de la mazorca 3.
11. Optimo económico.
12. Optimo fisiológico.

El análisis estadístico, se llevó a efecto a través de una análisis de covarianza para cada una de las variables sobre la base del diseño básico bloques al azar, tomando como covariable el número de plantas

por parcela experimental útil durante los muestreos 1, 2 y 3, y para muestreo 4 se usó como covariable número de mazorcas por parcela útil. En los casos donde existió efecto de tratamientos se hizo comparación de medias con prueba de rango múltiple Sheffe por ser la más apropiada para análisis de covarianza en las variables significativas.

Para el óptimo económico de la variable peso de grano 4 en riego se utilizó el modelo para superficie de respuesta Plan Puebla 1, para dos factores N, P, considerando las combinaciones del factorial probadas en el campo. (10, 19, 25, 61, 63, 72, 80).

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

A EXPERIMENTO DE RIEGO

1. Resultados

De acuerdo a los resultados observados en el Cuadro 1 los estadísticos descriptivos de cada variable nos muestran lo siguiente: La covariable 1 (número de plantas por parcela útil durante el primer muestreo 11 y 12 de agosto a los 38 días después de la siembra), mostró un mínimo de 54, un máximo de 189, con un rango de 135, una media de 104 y desviación estándar (S) de 32.32 y un coeficiente de variación (C.V.) de 30.99%. La covariable 2 (número de plantas por parcela útil muestreo 2, 29 y 30 de agosto a los 56 días después de la siembra), evaluó como valor mínimo 50, máximo 176, un rango de 126, media de 95.55, S de 28.91 y C.V. 30.25%. Para la covariable 3 (número de plantas por parcela útil muestreo 3, durante 22 y 23 de septiembre a los 80 días de la siembra), se reportó un mínimo de 28, máximo 132, rango de 104, media de 70.75, S 21.68 y C.V. de 30.64%. Asimismo, la covariable 4 (número de mazorcas por parcela útil, muestreo 4, efectuado el 17 de noviembre a los 135 días después de la siembra), presentó un valor mínimo de 21, máximo 90, rango de 69, media de 51, S de 16.55 y C.V. de 32.45%.

Por otra parte las variables mostraron lo siguiente: altura 1 presentó valor mínimo de 33.4 cm, máximo de 50.50 cm, rango 17.10 cm, media 43.40 cm, S de 4.55 cm y un C.V. de 10.54%. hojas completas 1 valor mínimo 7.70, máximo 11.30, rango 3.60, media 9.24, S de .72, C.V. de 7.84%. hojas incompletas 1, tuvo como valor mínimo 4.70, máximo 6.60, un rango de 1.90, media 5.74, S de 0.37 y C.V. de 6.46%. Altura 2, un mínimo de 83 cm, máximo 145 cm, rango de 62 cm, media de 123, S de 16 y C.V. 12.60%. Hojas completas 2, manifestó un mínimo de 9.60, máximo de 15.40, rango 6.30, media 13.17, S de 1.21 y C.V. de 9.16%. Para hojas incompletas 2, el mínimo fue de 7.00, máximo 10.10, rango 3.10, media 8.89, S de 0.75 y C.V. de 8.45%. Para altura 3, se dio un mínimo de 192, máximo 299, rango

107, media 227, S de 19 y C.V. de 8.34%. Hojas completas 3, mostró un mínimo de 11.30, valor máximo 14.30, rango 3.00, media 12.99, S de 0.78 y C.V. de 6.00%. Para hojas secas 3 valor mínimo 1.30, máximo 4.50, rango 0.32, media 2.43, S de 0.98 y C.V. de 40.40%. Hojas abajo de la mazorca 3, el valor mínimo fue 3.00, valor máximo 8.00, rango 5.00, media 6.64. S de 0.90 y C.V. de 13.52%. Hojas arriba de la mazorca 3, valor mínimo 4.10, valor máximo 5.40, rango 1.30, media 4.89, S de 0.29 y C.V. de 5.87%. Número de mazorcas 3 (por planta), valor mínimo 1.00, máximo 1.70, rango 0.70, media 1.25, S de 0.18 y C.V. de 14.02%. Area folear 3, valor mínimo 3,417.30, valor máximo 7,186.86, rango 3,769.30, media 5,511.63, S de 799.39 y C.V. de 14.50%. Paja 3, valor mínimo 2.93, valor máximo 9.60, rango 6.67, media 6.84, S de 1.57, C.V. de 22.94%. Rendimiento biológico 3, valor mínimo 6.33, valor máximo 18.31, rango 11.98, media 12.91, S de 3.20, C.V. de 24.81%. Peso de mazorca 4, valor mínimo 2.00, valor máximo 9.90, rango 7.90, media 6.14, S de 2.02, C.V. de 32.83%. Peso de olote 4, expresó un mínimo de 0.40, máximo de 2.75, rango 2.35, media 1.28, S de 0.52 y C.V. de 40.71%. Peso de grano 4, valor mínimo 1.55, valor máximo 7.95, rango 6.40, media 4.87, S de 1.61 y C.V. de 33.03%.

Con respecto a las variables consideradas como covariables (número de plantas 1, 2, 3 y número de mazorcas 4) fue disminuyendo tanto el valor mínimo, máximo, rango, media y S conservándose el C.V. de 30.99 a 32.45% para las mismas. Para las demás variables las que tuvieron un C.V. mayor a 30% fueron hojas secas 3, con 40.40%, peso de mazorca 4 con 32.83, peso de olote 40.71% y peso de grano 33.03, y todas las demás entre 5 y 25% de C.V.

Con respecto al análisis de covarianza dentro del diseño Bloques Completos al Azar para cada una de las variables estudiadas, los resultados revelan lo siguiente: Para las variables correspondientes al muestreo 1 (Cuadros 2, 3) la variable altura 1 mostró alta significancia para el diseño (bloques), presentando un C.V. de 8.60% y R^2 de 55.58%, así como efecto significativo de bloques para hojas completas 1, que tuvo un C.V. de 7.27% y R^2 de 42.67%. Para hojas incompletas 1, también hubo efecto significativo para el bloqueo con un C.V. de 6.21% y R^2 de 40.77%.

Durante el segundo muestreo se consideró como covariable 2 número de plantas por parcela útil) siendo los resultados los siguientes: altura 2 solo mostró efecto significativo para bloque, con un C.V. de 11.78% y R^2 de 42.37%. Hojas completas 2, mostró alta significancia para el diseño y efecto significativo para tratamientos con C.V. de 6.48% y R^2 de 66.63%, siendo la mejor media para tratamientos de acuerdo a las 45 combinaciones de pares de medias ajustadas por covarianza de acuerdo a su error estándar el tratamiento 8, 6 y 7, y las mas bajas los tratamientos (2, 9 y 4) (Cuadro 9). Hojas incompletas 2, presentó significancia para el diseño y para tratamientos, el C.V. es 6.97% y R^2 54.63% (Cuadros 2 y 4). La mejor media de tratamientos de acuerdo a las 45 combinaciones de pares de medias de tratamientos ajustados por covarianza fueron tratamiento 6, 8 y 7 y las medias mas bajas son el tratamiento 2 y 9 (Cuadro 10).

Con respecto al análisis para el tercer muestreo considerando como covariable 3 (número de plantas por parcela útil) los resultados se pueden observar (Cuadros 2, 5 y 6) las variables que no mostraron efecto estadísticamente singificativo para ninguno de los componentes del modelo (covariable 3, bloques y tratamiento) fueron altura 3, hojas completas 3, hojas abajo de la mazorca 3, hojas arriba de la mazorca 3, y área folear 3. Hojas secas 3, presentó alta significancia para el bloqueo y significancia para la covariable 3, su C.V. fue de 28.71% y R^2 de 66.30%. Número de mazorcas 3 fue la única que manifestó significancia para tratamientos en este muestreo. Aquí la mejor media de tratamientos de acuerdo a las 45 combinaciones de pares de medias ajustadas por covarianza de acuerdo con su respectivo error estándar son el tratamiento 7, 5 y 8 y las mas bajas los tratamientos 10 y 9 (Cuadro 11). El C.V. es de 11.61 y R^2 es de 54.75%. Paja 3 tuvo efecto significativo para la covariable 3, mostrando un C.V. de 16.96% y R^2 63.57%. Rendimiento biológico 3 mostró significancia para la covariable 3 mostrando un C.V. de 21.16% y R^2 de 51.49%.

Con respecto al muestreo 4 donde la covariable 4 fue (número de mazorcas por parcela útil) (Cuadros 2 y 7) los resultados fueron: para peso de mazorca 4 hubo alta significancia de la covariable 4 con

C.V. 22.22% y R^2 de 69.46%. Peso de olote 4 presentó alta significancia de la covariable 4 con C.V. de 31.27% y R^2 de 60.61% y peso de grano 4 presenta efecto altamente significativo para la covariable 4 con C.V. de 23.34% y R^2 de 66.69%.

Para la misma variable peso de grano 4 presenta efecto significativo a través de análisis de covarianza múltiple donde se consideran como covariables: covariable 3, (número de plantas por parcela útil al tercer muestreo (Cuadro 8), covariable 4 (número de mazorcas por parcela útil muestreo 4) y covariable 44 (número de mazorcas al cuadrado), donde la comparación de medias por las 45 combinaciones de pares de medias ajustadas por covarianza con su respectivo error estándar, siendo las mejores medias de tratamientos 8 y 6 y la media mas baja es 9 (Cuadro 12), denotando un C.V. de 20.18% y R^2 de 77.04%.

Las correlaciones entre las 22 variables se presentan en el (Cuadro 13), y las correlaciones con un grado de asociación igual o mayor a 50% (Cuadro 14), siendo para paja 3 con C3 .609, C2 .579, PG4 .657, PO4 .517, PM4 .657, RB3 .865. Para RB3 con C44 .623, C4 .666, C3 .513, PG4 .822, PO4 .773, PM4 .934, Para PM4 con C44 .631, C4 .686, PG4 .984, PO4 .837, Para PO4 con C44 .544, C4 .592, PG4 .727. Para PG4 con C44 .616, C4 .669.

2. Discusión

En base a los componentes del modelo se puede resumir lo siguiente; con respecto a las covariables: Muestreo 1, covariable 1, ninguna de las variables presentó significancia (Cuadro 3). En el muestreo 2, covariable 2, ninguna de las variables presentó significancia (Cuadro 4) . Durante el tercer muestreo, la covariable 3, presentó efecto significativo para las variables hojas secas 3, Paja 3 y rendimiento biológico 3 (Cuadros 5 y 6). Durante el cuarto muestreo, Covariable 4, demostró alta significancia para las variables peso de mazorca 4, peso de olote 4 y peso de grano 4 (Cuadro 7). Para covarianza múltiple (covariables 3, 4 y 44) hay efecto significativo de la covariable 44 y altamente significativo para la covariable 4, para la variable peso de grano 4 (Cuadro 8).

Con respecto al Diseño (bloques) durante el muestreo 1, hubo alta significancia para altura 1 y solo efecto significativo para hojas completas 1 y hojas incompletas 1 (Cuadro 3). Durante el segundo muestreo, reportaron alta significancia para el bloqueo hojas completas 2 y significancia altura 2 y hojas incompletas 2 (Cuadro 4). Al tercer muestreo solo una variable presentó alta significancia para el diseño que fue hojas secas 3 (Cuadros 5 y 6). Asimismo durante el cuarto muestreo no se reportó para ninguna variable y en análisis de covarianza múltiple tampoco (Cuadros 7 y 8).
El componente del modelo referente a tratamientos nos reflejó lo siguiente: al primer muestreo no reporta significancia para ninguna variable (Cuadro 3), durante el segundo muestreo existe significancia para las variables hojas completas 2 y hojas incompletas 2 (Cuadro 4), durante el tercer muestreo expresó significancia estadística la variable número de mazorcas 3 (Cuadros 5 y 6) asimismo ninguna variable manifestó significancia durante el muestreo 4 (Cuadro 7) pero en análisis de covarianza múltiple (covariable 3, covariable 4 y covariable 44) se presentó significancia de la variable peso de grano 4, durante el mismo muestreo (Cuadro 8).

Para las variables que tuvieron significancia estadística por tratamientos durante el segundo muestreo, hojas completas 2 y hojas incompletas 2 (Cuadro 4) no tuvieron efecto de la covariable 2 (número de plantas por parcela útil) pero si del bloqueo (diseño) con alta significancia para la primera, con significancia para la segunda, lo que puede reflejarnos que estas son variables más influenciadas genéticamente que por interacción con el número de plantas, sin embargo parece ser interactua mas con la disponibilidad de H° y nutrientes muy relacionado con el diseño utilizado Bloqueo que trataba de amortiguar la diferencia de pendiente. Cabe considerar que aparentemente estas variables no influyeron fuertemente sobre las variables del rendimiento biológico o económico.

Para la variable número de mazorca 3 (Cuadro 6) no fue afectada por la covariable 3 ni por el bloqueo pues no fueron significativas, pero tal parece ser que ni esta variable influyó sobre rendimiento biológico y económico del cultivo, ya que ni paja 3, peso de mazorca

4, peso de olote 4 ni peso de grano 4 reportaron significancia estadística, con covarianza simple.

No obstante al considerar las covariables 3, 4 y 44 en forma conjunta si se logró manifestar efecto de los tratamientos sobre la variable de peso de grano 4 (rendimiento económico), siendo de interés observar que para las 4 variables con efecto significativo sobre los tratamientos el que mostró la diferencia estadística para todas ellas es el tratamiento 9 (00, 00) con niveles bajos o ausencia de fertilizante nitrogenado y fosfórico, mientras que los tratamientos restantes quedan con igualdad de respuesta estadística donde cada una de ellas si contenian algún nivel de la fertilización nitrogenada (70, 140, 210) o fosfórica (30, 60, 90) o una combinación de ambos, o se expresa diferencia contra los tratamientos con niveles más bajos (Cuadros, 9, 10, 11 y 12).

Algunas de las razones por las cuales no se manifestó diferencia estadística en las demás variables estudiadas (14) así como una mayor respuesta para las que si fueron significativas pudieran ser las siguientes:

- Que el análisis químico del suelo del área experimental reveló un contenido de "N" total de 0.155% (media) y de fósforo aprovechable 122.7 ppm (muy alto) y de potasio aprovechable 462.09 kg (extremadamente rico). Lo que nos indica que no existía deficiencia propiamente dicha para la producción del cultivo en esta área experimental (Cuadro 36).
- La forma de aplicación del producto fertilizante (directo al suelo en bandas y cubierto con azadón) no es la más adecuada ya que para el N (urea) debe aplicarse a un mínimo de 15 cm de profundidad en bandas y a un mínimo de 10 cm de la semilla o raíces. Lo anterior con el propósito de evitar las pérdidas por evaporación del amonio, al hidrolizarse la urea, puesto que el promedio de T° diaria durante el ciclo fue mayor a 24°C (Cuadro 38).
- Otras pérdidas pudieron haber sido para el "N" por lavado de nitratos (lixiviación) después de la nitrificación durante cada riego con humedad mayor a C.C.
- Algunas pérdidas menores se pueden dar por desnitrificación con

- del suelo mayor a C.C. y a T° altas por ser suelo arcilloso. pérdidas que podrían ir de un 5 a un 10% en forma de vapor amonio).
- Otra alternativa de pérdida pequeña sería la parte del amonio que se fija en las micelas arcillosas.
- Con respecto al fósforo, del área del suelo, las raíces solo entran en contacto del 1 a 3% de la misma, por lo que, el no distribuir el P en el área arable disminuye significativamente la posibilidad de ser aprovechado.
- Su forma de aplicación en bandas con azadón no es la más adecuada, ya que por su poca movilidad debería aplicarse con arado de reja o disco para una mayor distribución dentro del perfil del suelo lo que daría un mayor contacto con las raíces ya que tanto experimentalmente como agrícolamente se puede efectuar.
- En general los cultivos solo recuperan del 25 al 30% del fósforo aplicado por fertilización, de residuos orgánicos, o de los minerales del suelo, quedando el P residual disponible para los cultivos de los siguientes ciclos.
- Algo del P es retrogradado o fijado en los suelos arcillos, caso particular de la zona experimental.

De todo lo expuesto se observa que existen varios factores que limitan el aprovechamiento adecuado de la fertilización Nitrogenada y Fosfórica, a los que se puede agregar la densidad de población la cuál debe ser (adecuada u óptima para el maíz) puesto que el exceso de población reduce el beneficio de la fertilización, debido a que exceso de competencia reduce el tamaño de la mazorca y el largo y ancho de la hoja, disminuye el área folear, menor concentración de CO_2 y mayor competencia por luz, lo que repercute en una caída en la producción de fotosintetizados y por lo tanto en el rendimiento biológico y económico.

Para el caso particular de esta investigación los valores mínimos, máximos, y media de cada una de las 4 covariables consideradas para (4 muestreos) presentaron una tendencia a disminuir del 1° al 4° muestreo para éstos estadísticos descriptivos, de tal manera que durante la primera muestra el valor mínimo fue de 54

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L

pltas/p.u., lo que daría un total de 28,203 pltas/ha, mientras que el máximo tuvo 189 pltas/p.u., lo que es equivalente a 77,713 pltas/ha, el valor medio fue de 135 pltas/p.u. equivale a 42,886 pltas/ha. Justo al segundo muestreo el mínimo correspondió a 50 pltas/p.u., que corresponderían a 20,559 pltas/ha, el máximo de 176 pltas/p.u. daría 72,367 pltas/ha, su media con 95.5 pltas/p.u., proporcionan 39,288.24 pltas/ha. Con la misma tendencia el tercer muestreo presenta un mínimo de 28 pltas/p.u. lo que da 11,513.04 pltas/ha, el máximo fue de 132 pltas/p.u. generando 54,275.76 pltas/ha y la media de 70.75 pltas/p.u. generando una población de 29,090.90 pltas/ha y finalmente para el muestreo 4, sobre número de mazorcas por parcela útil disminuye aún más, de tal modo que el valor mínimo fue de 21 mazorcas/p.u. dando un total de 8,634.78 mazorcas/ha, el máximo de 90 mazorcas/p.u. generando 37,006.2 mazorcas/ha y para la media de 51 mazorcas/p.u. producirá 20,970.18 mazorcas/ha. Tomando en consideración que la población adecuada para este experimento debió haber sido de 52,640 pltas/ha (valor que se obtiene de multiplicar número de surcos de 76 cm = 131.6 por número de plantas por surco = 400 a 25 cm entre planta), lo que nos muestra que para ninguno de los 3 muestreos logramos tener la densidad óptima ni con el valor medio, solo con el máximo y mucho menos en el 4 muestreo para mazorcas muy por debajo del óptimo. De esto se puede inferir que el factor más limitativo para la no observancia de respuesta positiva a la fertilización sobre todo para las variables del tercero. y cuarto muestreo que son componentes del rendimiento biológico y económico, lo que implica que el área experimental esta siendo subutilizado puesto que densidades bajas permiten o facilitan pérdidas de H° del suelo por falta de sombreo del cultivo, así como pérdidas de nutrientes por volatilización del "N" en forma de amonio en los momentos de hidrólisis de la Urea o desnitrificación, así como mayor competencia por aparición de malezas. Por otra parte existió una competencia desleal entre planta ya que no hubo equidistancia entre las mismas debido a siembra manual a tubo. Todo esto conlleva a que existe un desperdicio de superficie del suelo, humedad y de fertilidad, por lo que es de gran importancia regular la dosis óptimas del maíz que fluctuaron de 45,000 a 55,000 pltas/ha dependiendo de la variedad, ciclo de cultivo, características del

suelo, disponibilidad de agua, condiciones climáticas, tecnología de cultivo y propósito de la producción.

Es de importancia aclarar que con respecto a las características del suelo (Cuadro 36) como color (negro), textura (arcillosa), estructura (granular), pH (ligeramente alcalino 7.4), suelo no calcáreo, ni salino, así como del agua de riego (Cuadro 37) que tuvo salinidad (media) y baja en sodio, no fueron limitantes para el aprovechamiento de los nutrientes de N y P incorporadas en la fertilización. Sin embargo, las condiciones climáticas (T° y H° relativa) (Cuadro 38) del ambiente y el suelo, así como la disponibilidad o no de agua, interactuaron creando un ambiente adecuado para las diferentes pérdidas de N ya mencionadas.

Aunado a lo anterior es de gran importancia señalar la tendencia de los valores estadísticos observados en los Cuadros y Figuras correspondientes para cada una de las variables que presentaron efecto significativo y en particular para la variable peso de grano 4, donde se puede detectar como el factor "N" sigue una tendencia lineal es decir, no hay efecto cuadrático o no se rompe la linealidad, lo que nos orienta en que el óptimo para la producción de maíz lo podemos encontrar por el nivel mas alto de N 210 kg N/ha o por encima de él (Cuadro 15, 16, 17, 18, 19 y Figura 19). Sin embargo para el factor P los resultados estadísticos observados en los (Cuadros 15, 16, 17, 18, 19), así como la (Figura 20) nos revelan una tendencia lineal y tendencia cuadrática en los niveles intermedios bajo y alto 30 y 60 kg de P/ha, lo que nos indica que por ahí podría estar el óptimo fisiológico y para 30 kg/ha el óptimo económico de este nutriente, todo esto siempre y cuando acompañemos la fertilización con las demás tecnologías adecuadas que hagan que este se aproveche plenamente.

Por lo tanto en el modelo no detectamos ningún efecto en la interacción del N con el P, lo que implica que bajo las condiciones en que se desarrolló el presente experimento la presencia de uno con respecto al otro no modificó la respuesta producida individualmente por cada factor.

El modelo que considera el efecto de los bloques (tres variables

Dummy o de engaño), el efecto lineal del "N", el efecto lineal y cuadrático de P, así como el efecto de la covariable 3, la covariable 4 y la covariable 44 es el siguiente:

$$Yi = \beta o + \alpha 1\ D_1 i + \alpha 2\ D_2 i + \alpha 3\ D_3 i + \beta i\ Ni + \beta_2\ Pi + \beta_{22}\ Pi^2 + \delta 1\ X_3 i$$
$$\delta_2\ X_4 i + \delta_{22}\ X_{4i}^2 + Ei. \qquad i = 1,\ldots 40$$
$$Ei \sim NI\ (0,\ \sigma^2)$$

observándose los resultados del modelo en el Cuadro 15, variables Dummy (α_1, α_2, α_3), covariables (δ_1, δ_2, δ_{22}).

Para el caso donde se ignora el efecto de los bloques (variables Dummy) el modelo sería (Cuadro 16):

$$Yi = \beta_0 + \beta_1\ Ni + \beta_2\ Pi + \beta_{22}\ Pi^2 + \delta_1\ X_3 i + \delta_1\ X_3 i + \delta_2\ X_{4i}$$
$$+ \delta_{22}\ X_{4i}^2 + Ei$$
$$i = 1,\ldots.40$$
$$Ei = \sim NI\ (0,\ \sigma^2)$$

Es de importancia aclarar que el modelo completo (con las variables Dummy) nos representa la variabilidad puntual para cada uno de los tres bloques específicos de la zona experimental, sin embargo el modelo que no incluye las Dummy, representa la opción mas adecuada para condiciones generales de la zona de influencia para el área experimental.

Por otra parte, considerándose el modelo completo que explica el rendimiento en grano así como su coeficiente específico y valores, mínimo, intermedios (bajo y alto) y máximo, (Cuadros 17, 18, 19 y 21) nos permiten elaborar las (Figuras 19, 20, 21 y 22) que indican la respuesta individual del Nitrógeno y Fósforo, así como conjunta para predecir el rendimiento de grano. Además, en el Cuadro 20 incisos a, b y c, podemos observar la tendencia de los efectos tanto del N, P_2O_5, individual y en conjunto así como la densidad.

Asimismo, se llevó a efecto el análisis closter con agrupamiento de las variables Paja 3, rendimiento biológico 3 y las covariables 3 y 4, así como con el agrupamiento peso de mazorca 4, peso de olote 4, peso de grano 4 y las covariables 3 y 4, apoyado en el método (Wold's de mínima varianza). Sin embargo, para nuestro caso particular no tiene mucho sentido práctico su aplicación que solo formaría 2 grupos finales de tratamientos de mayor acercamiento por su respuesta según la variable considerada.

3. Evaluación Economica

Los costos de producción por unidad de superficie (Ha) para el cultivo de maíz criollo variedad blanco olote colorado a precios actuales mayo de 1995 calculado con costos muy conservadores y mínimos, es el siguiente:

Labor	Costo
Rastra	N$ 90.00
Siembra	N$ 90.00
Cultivada	N$ 70.00
Aporque	N$ 70.00
5 riegos	N$100.00
Control de plaga(cogollero)	N$ 50.00
Cosecha (combinada)	N$130.00
Semilla (15 kg)	N$ 15.00
Total	N$635.00

A estos costos se le agrega el monto correspondiente a la fertilización, lo que dependerá de la cantidad de N y de P_2O_5 aplicado.

El precio actual para el fertilizante Urea es de N$2.00 kg. en sacos de 50 kilos y de N$1.40 si se compra una tonelada, sin embargo para el superfosfato de calcio triple el monto es de N$2.00 por kg de fertilizante independientemente de la cantidad comprada.

Así el valor de 70 kg de N/ha se obtiene calculando la cantidad de fertilizante para dicha dosis, ya que cada kilo de Urea posee 46% N o sea que por cada 100 kg de fertilizante se obtienen 46 kg de N. Por lo tanto para 70 kg N/ha se requieren aplicar 152.17 kg de fertilizante/ha, lo que se obtiene por una regla de tres simple.

100 kg de Urea = 46 kg N

¿ kg de fertilizante = 70 kg N

70 x 100 ÷ 46 = 152.17 kg fertilizante/ha

Este valor solo se multiplica por 2 o 3 para obtener el monto para 140 kg N/ha y 210 kg N/ha. Asimismo cada cantidad de fertilizante se multiplica por N$1.40 que es el costo por kg. Así los costos de fertilizante nitrogenado son los siguientes:

70 kg N/ha	=	152.17 kg fert/ha	=	N$213.04
140 kg N/ha	=	304.34 kg fert/ha	=	N$426.08
210 kg N/ha	=	456.51 kg fert/ha	=	N$639.11

Para el caso del fósforo se calcula de la misma forma, ya que cada 100 kg de superfosfato de calcio triple contiene 46% de P_2O_5, de modo que para obtener 30 kg de P_2O_5 se requiere aplicar la fórmula de la regla de tres simple que dice:

100 kg de superfosfato de calcio triple	=	46 kg de P_2O_5
kg de fertilizante son	=	30 kg de P_2O_5
100 x 30 ÷ 46	=	65.22 kg fert/ha

El valor obtenido se multiplica por dos y tres para obtener las cantidades de fertilizante correspondientes a 60 y 90 kg P_2O_5. Los cuales a su vez se multiplicaran por el costo unitario del fertilizante igual a N$2.00, obteniendo los costos por nivel de fósforo de la forma siguiente:

30 kg P_2O_5/ha	=	65.22 kg fert/ha	=	N$130.44
60 kg P_2O_5/ha	=	130.44 kg fert/ha	=	N$260.88
90 kg P_2O_5/ha	=	195.66 kg fert/ha	=	N$391.32

De tal manera que los costos globales brutos de producción del maíz se obtienen agregando al costo fijo el valor correspondiente a la cantidad y al tipo de fertilizante. Para la determinación de las ganancias o pérdidas de la producción se determina el rendimiento y los ingresos obtenidos de él a lo que se le restan los gastos de producción cuya diferencia nos indicará el monto de las pérdidas o ganancias brutas. Estos resultados de rendimiento, ingresos, costos de producción y pérdida o ganancia bruta se observan en el (Cuadro 22); así como el óptimo fisiológico y económico se expresan en las Figuras 23 y 24 respectivamente.

Los ingresos se obtienen multiplicando el rendimiento por el precio por kg de maíz actual que corresponde a 82 centavos. A ésta entrada de dinero se puede agregar como ingreso fijo la cantidad de N$400.00 por unidad de superficie para el cultivo de maíz actualmente para aquellos agricultores inscritos a Procampo. Por otra parte se podría incluir lo correspondiente a 40 pacas de pastura de maíz después de la cosecha, lo que correspondería a otro ingreso de N$300.00/ha lo que se vende o en su defecto se incorpora como materia

organica al suelo o sirve de alimento para los animales del agricultor.

B EXPERIMENTO EN RIEGO LIMITADO

1. Resultados

En base a los resultados expresados en el (Cuadro 23) los estadísticos descriptivos de las 40 observaciones para cada una de las variables nos indican lo siguiente: Así para la covariable 1 (número de plantas por parcela útil al primer muestreo, 11 y 12 de agosto a los 38 días después de la siembra), presentó un mínimo de 43 pltas/p.u. 184 máximo, con un rango de 141, una media 98.59 y una S de 34.93 con un C.V. de 35.34. La covariable 2 (número de plantas por parcela útil al segundo muestreo, con fecha 29 y 30 de agosto a los 56 días después de la siembra), reveló como valor mínimo 41 plantas, máximo 162 y un rango de 121, su media fue de 90.2 y su S de 30.7 con un C.V. de 34.03%. Para la Covariable 3 (número de plantas por parcela útil al tercer muestreo, durante 22 y 23 de septiembre a los 80 días de la siembra), se tuvo un mínimo de 32 pltas/p.u. un máximo de 125, un rango de 93.0 y una media 68.60 con una S de 24.04 y C.V. igual a 35.04%. Para la Covariable 4 (número de mazorcas por parcela útil al cuarto muestreo, efectuado el 17 de noviembre a los 135 días después de la siembra), se presentó un mínimo de 21 mazorcas/p.u., un máximo de 100, rango 79, media 49.3, S de 18.10 y un C.V. de 36.71%.

Por otra parte, las variables evaluadas muestran lo siguiente: para el primer muestreo la variable altura 1 expresó un mínimo 28.10 cm, un máximo de 56.50, rango de 28.40, media 40.50, S de 5.71 y C.V. igual a 14.09%. hojas completas 1 presentó un valor mínimo de 7.10, máximo de 10.30, rango 3.20, media 9.19, S de 0.74 y C.V. de 8.05%. Para hojas incompletas 1 expresó un mínimo de 4.4 hojas, máximo 6.4, rango de 2.0, media de 5.6, S de 0.48 y C.V. de 8.51%. Con respecto al segundo muestreo las variables mostraron lo siguiente: Altura 2 presentó un mínimo de 67.5 cm, máximo 136.6, rango de 69.1, media de 102.0, S de 15.4 y C.V. de 15.07% hojas completas 2 dio como mínimo 10.2 hojas, máximo de 14.70, un rango de 4.5, media de 13.14, S de

0.88 y C.V. de 6.72%. hojas incompletas 2 mostró un mínimo de 6.8 hojas, máximo 10.4, rango de 3.6, media de 8.55, S de 0.82 y C.V. de 9.58%. Durante el tercer. muestreo los resultados fueron: para altura 3 un mínimo de 160.5 cm, máximo de 242.0, rango de 82, media de 206.0, S de 15.0 y C.V. de 7.10%. Hojas completas 3 dio como valor mínimo 11.0 hojas, máximo 14.0, rango 3.0, media de 12.77, S de 0.75 y C.V. igual a 5.86%. Para hojas secas 3 el mínimo fue de 1.20, máximo 4.50, rango de 3.30, media 2.21, S de 0.70 y C.V. de 31.70%. Hojas abajo de la mazorca 3, tuvo un mínimo de 5.31, máximo de 7.60, rango de 2.30, media 6.64, S de 0.54 y C.V. igual a 8.09%. Hojas arriba de la mazorca 3, rindió como mínimo 4.00, máximo 5.40, rango 1.40, media 4.79, S de 0.30 y C.V. de 6.29%. Número de mazorcas 3, produjo como mínimo 1.0, máximo 1.90, rango 0.90, media 1.33, S de 0.23 y C.V. de 17.18%. Area folear 3 presentó un mínimo de 2,500.80 cm^2, máximo 6,631.90, rango 4,131.10, media 4,932.92, S de 837.86 y C.V. equivalente a 16.90%. Paja 3, mostró un valor mínimo de 2.70 kg, máximo de 8.20, rango 5.50, media 5.83, S de 1.32 y C.V. de 22.62%. Rendimiento biológico 3, rindió como mínimo 5.50 kg, máximo 17.38, rango 11.88, media 11.36, S de 2.99 y C.V. de 26.28%.

Para las variables del cuarto muestreo los resultados muestran que para peso de mazorca 4 se dio un mínimo de 1.90 kg, máximo 9.85, rango 7.95, media 5.50, S de 1.84 y C.V. de 33.38%. Peso de olote 4, rindió un mínimo de .500 kg, máximo de 2.00, rango 1.5, media 1.15, S de 0.36 kg y C.V. de 31.35%. Para peso de grano 4, se tuvo un mínimo de 1.30 kg, máximo 8.08, rango de 6.78, media 4.36, S de 1.57 y C.V. de 35.96%.

Cabe contemplar que las variables consideradas como covariables (número de plantas 1,2,3 y número de mazorcas 4) tendieron a disminuir los valores mínimos, máximos, rango, media y S del primero al cuarto muestreo, conservándose un C.V. de 34.03 a 36.71 para las mismas. Con respecto a las demás variables las que tuvieron un C.V. mayor a 30% fueron: hojas secas 3, con 31.70%, peso de mazorca 4 con 33.38%, peso de olote 4 con 31.35% de C.V. y peso de grano 4 con 35.96% de C.V. Todas las demás variables fluctuaron entre 5.86% hasta 26.28% de C.V.

De acuerdo al análisis de covarianza dentro del diseño bloques

completos al azar para cada una de las variables estudiadas, los resultados reportan lo siguiente: Para las variables correspondientes al muestreo 1 (Cuadros 24,25), considerando como Covariable 1 (número de plantas por parcela útil), la variable altura 1 mostró alta significancia para el diseño y tratamientos fue significativo, presentando un C.V. de 10.38% y un R^2 de 63.80%. Las mejores medias de tratamientos de las 45 combinaciones de pares de medias ajustadas por la covariable de acuerdo a su error estándar fue el tratamiento 3 y la mas baja tratamientos 4 y 2 (Cuadro 30). Hojas completas 1 fue altamente significativo para el diseño básico (bloqueo) con un C.V. 6.79% y R^2 = 52.52%. Para hojas incompletas 1 se encontró significancia para la covariable 1 y efecto altamente significativo para bloques, mostrando un C.V. de 6.97% y R^2 de 55.45%.

Durante el segundo. muestreo (Cuadros 24 y 26) usando como covariable 2 (número de plantas por parcela útil) solamente presentó efecto altamente significativo para el diseño bloques la variable altura 2 con C.V. de 11.58% y R^2 59.72%.

En el muestreo 3 (Cuadros 24, 27 y 28) se tomó como covariable 3 (número de plantas por parcela útil) encontrando efecto altamente significativo el bloqueo para la variable altura 3 que tuvo un C.V. de 5.75% y un R^2 de 56.00%. Asimismo hubo efecto altamente significativo de tratamientos para la variable hojas completas 3 presentando un C.V. de 4.23% y R^2 de 65.27%. De acuerdo a las 45 combinaciones de pares de medias ajustadas por covarianza (Cuadro 31) con su respectivo error estándar los mejores tratamientos fueron el 7, 3, 10 y 8 y los tratamientos con medias más bajas correspondieron a los tratamientos 9 y 1. La variable hojas secas 3 mostró efecto altamente significativo tanto para la covariable como para tratamientos, con un C.V. de 22.08% y R^2 de 67.70%, de tal forma que la mejor media de tratamientos de acuerdo a las 45 combinaciones de pares de medias ajustadas por covarianza con su respectivo error estándar fueron los tratamientos 4, 10 y 7, los peores tratamientos 9 y 1 (Cuadro 32). hojas abajo de la mazorca 3 también mostró significancia para tratamientos, contando con un C.V. de 7.02%, R^2 de 49.85%, siendo su mejor media de tratamiento el 5 y 7, la peor el tratamiento 9 y 1 de acuerdo a las 45 combinaciones de medias

ajustadas por covarianza y su error estándar (Cuadro 33). Número de mazorcas 3 mostró alta significancia para los tratamientos, presentando la mejor media el tratamiento 7, 6 y 10 y la menor el tratamiento 9 y 2 (Cuadro 34), contando con un C.V. de 12.99% y R^2 de 61.43. La variable área folear 3 manifestó efecto altamente significativo al bloque y solo significativo a tratamientos, manifestándose con las mejores medias los tratamientos 3, 7 y 9 y los más bajos los tratamientos 2 y 4 (Cuadro 35) con un C.V. de 12.94 y R^2 = 61.32%. Para Paja 3 se dio alta significancia para la covariable 3 como para el bloqueo contando con un C.V. igual a 17.08% y R^2 de 62.0%, asimismo rendimiento Biológico 3 mostró efecto altamente significativo para covariable 3 y bloqueo, siendo su C.V. de 17.08 y R^2 de 69.42%.

En base al cuarto muestreo (Cuadro 29) tomando en cuenta como covariable 4 (número de mazorcas por parcela útil), no se encontró efecto significativo para ninguna de las variables estudiadas en él, solamente se presentó alta significancia para la covariable 4 y bloqueo de la variable peso de mazorca 4 que tuvo un C.V. igual a 19.02% y R^2 de 78.36%. Para peso de olote 4 alta significancia de la covariable con un C.V. de 25.16% y R^2 de 56.99%. Asimismo peso de grano 4 expresó efecto altamente significativo tanto para la covariable como para el bloqueo, presentando un C.V. de 20.32% y un R^2 de 78.68%. Cabe agregar que ninguna de las variables del muestreo 4 logró manifestar significancia para tratamientos aún con covarianza múltiple al considerar como covariables a la C3 y C4 (número de plantas por parcela útil y número de mazorcas por parcela útil respectivamente).

2. Discusión

En base a los componentes del modelo se puede resumir lo siguiente: con respecto a los covariables; para la covariable del muestreo 1 solamente presentó efecto altamente significativo para la variable hojas incompletas 1. Durante el muestreo 2 para la covariable 2, no hubo significancia para ninguna de las 3 variables probadas. En cuanto al tercer muestreo, la covariable 3 solo muestra

alta significancia para las variables hojas secas 3, paja 3 y rendimiento biológico 3. En el cuarto muestreo la covariable 4 mostró alta significancia para todas las variables probadas con ella, peso de mazorca 4, peso de olote 4 y peso de grano 4 (Cuadros 25, 26, 27, 28, 29).

De acuerdo al modelo utilizado el componente bloques, durante el primer muestreo presentó alta significancia para las tres variables probadas: altura 1, hojas completas 1 y hojas incompletas 1. Al momento del segundo muestreo solo hubo efecto del bloqueo para la variable altura 2 con alta significancia. En cuanto al tercer muestreo presentaron efecto altamente significativo para bloqueo altura 3, área folear 3, paja 3 y rendimiento biológico 3. Para el cuarto muestreo hubo alta significancia para peso de mazorca 4 y peso de grano 4 (Cuadros 25, 26, 27, 28 y 29).

El componente de tratamiento reflejó a la primera muestra significancia estadística para la variable altura 1. Durante el segundo muestreo, ninguna variable manifestó significancia estadística. Para la tercera muestra, se manifestaron significativamente las variables hojas abajo de la mazorca 3, área folear 3 y con alta significancia hojas completas 3, hojas secas 3 y número de mazorcas 3, y no hubo significancia de tratamientos para ninguna variable del cuarto muestreo (Cuadros 25, 26, 27, 29 y 29).

Las variables que no tuvieron significancia estadística para ninguno de los componentes del modelo (covariables usadas 1,2,3,4, bloques y tratamientos fueron: hojas completas 2, hojas incompletas 2, hojas arriba de la mazorca 3), lo cual parece reflejar que estas variables son más de orden genético, que no están influenciadas por el ambiente (número de plantas por parcela útil, número de mazorcas por parcela útil, diferencia de pendiente o bloque, o diferente disponibilidad de nutrientes o fertilizantes.

Con respecto a las variables que tuvieron efecto significativo estadísticamente para tratamientos como: altura 1 (Cuadros 25 y 30), el número de plantas no influyó sobre esta variable pero si la diferencia de pendientes (bloqueo) pues afectó con alta significancia por la mejor o menor disponibilidad de Hº o manejo del riego mas que el efecto de la fertilización ya que el tratamiento 9 con cero

aplicacion de nutrientes no queda como el tratamiento más bajo, por lo que esta variable no parece ser determinante sobre el rendimiento final biologico o económico) evidenciando que en este momento no hay fuerte competencia por nutrientes.

Para la variable hojas completas 3 (Cuadros 27 y 31) no fue afectada por la covariable 3 (número de plantas 3) ni por bloqueo (diferente pendiente), sino que la alta significancia para tratamientos se marca por la diferencia entre la disponibilidad de nutrientes donde el mejor tratamiento el 7 y el más débil el tratamiento 9 que carece de aplicación de nutrientes, es una variable importante para el rendimiento biológico y económico ya que tiene estrecha correlación con área folear encargada de la producción de fotosintetizados.

Hojas secas 3 (Cuadros 27 y 32), fue fuertemente afectada por la covariable 3 (número de plantas por parcela útil) es decir que es una variable que interactúa más con el ambiente (Población o densidad) y nutrientes disponibles, de tal forma que el tratamiento 9 con cero niveles de nutrientes es el que tiene más hojas secas o caídas o es variable que afecta a hojas completas y por lo tanto a el área folear y directamente al rendimiento biológico o económico, debido a su relación con la producción de fotosintetizados.

Hojas abajo de la mazorca 3 (Cuadros 27 y 33), no fue afectada por la pendiente ni por el número de plantas siendo el tratamiento con menos hojas abajo de la mazorca el tratamiento 9 que nos indica que la falta de nutrientes influye directamente en la abscición de las hojas por la deficiencia de N y P, de tal forma que hojas abajo de la mazorca, se ve afectada por hojas secas 3 que solo son abajo de la mazorca, influyendo las dos sobre hojas completas y ésta directamente sobre área folear 3, siendo en todas ellas el tratamiento 9 el que determina la diferencia estadística, pues es el tratamiento sin aplicación de fertilizante nitrogenado ni fosfórico.

Número de mazorcas 3 (Cuadros 28 y 34), no fue influenciado por bloques ni por la covariable 3 número de plantas, de tal forma que la disponibilidad de nutrientes generado por los tratamientos manifestó la diferencia sobre el número de mazorcas entre ellas, sin embargo no influyó sobre el rendimiento económico (peso de mazorca 4, Olote 4 y

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

Grano 4), posiblemente a que al aumentar el número que nunca pasó de 2 mazorcas por planta, carácter genético, disminuyó el tamaño de la demanda fisiológica (mazorca) y por lo tanto el número de granos, que es el aspecto más determinante en el rendimiento de grano, que se incrementa al aumentar el tamaño de la mazorca ya que el número de carreras es genético y el tamaño interactúa con la condición del medio ambiente (agua, nutrientes, clima, etc.).

Area folear 3 (Cuadros 28 y 35), no fue afectada por la covariable número de plantas pero si significativamente por el bloqueo, es decir las condiciones del ambiente pendiente y disponibilidad de agua y de nutrientes por los tratamientos, siendo las diferencias influenciadas por las hojas caídas o secas 3, que afectó número de hojas abajo de la mazorca 3 y por lo tanto hojas completas 3, y directamente área folear 3 donde la diferencia la determina el Tratamiento 9, sin embargo las diferencias del área folear no fueron lo suficientemente determinantes para influir sobre las variables de rendimiento biológico 3, paja 3 y del rendimiento económico como (peso de mazorca 4, peso de olote 4 y peso de grano 4), ya que existieron otros factores que influyeron fuertemente en que no se manifestara diferencia estadística para las demás variables y mayor diferencia entre las que si la manifestaron.

Algunas de las razones por las cuales no se manifestó diferencia estadística en las demás variables estudiadas (12), así como una mayor respuesta para lo que si fueron significativas pueden ser las siguientes:

- El análisis químico del suelo del área experimental reporta un contenido de N total de 0.115% (medio) y de fósforo aprovechable 122.7 ppm (muy alto) y de potasio aprovechable 462.09 kg (extremadamente rico). Lo que nos indica que no existía deficiencia propiamente dicha para la producción del cultivo en el suelo (Cuadro 36),
- La forma de aplicación del producto fertilizante (directo al suelo en bandas y cubierto con azadón) no es la más adecuada ya que para el N (urea) debe aplicarse a un mínimo de 15 cm de profundidad en bandas a un mínimo de 10 cm de la semilla o raíces. Además para riego limitado el N se dio en una sola

aplicacion y debería de ser al menos 3 aplicaciones (durante la siembra, desarrollo vegetativo y antes de la floración). Por otro lado la forma de aplicación correcta de los fertilizantes de N reducirá las pérdidas por evaporación del amonio, al hidrolizarse la Urea, o por desnitrificación ya que se tuvieron temperaturas medias promedio mayores a 24°C (Cuadro 38).

- Algunas pérdidas relacionadas con el N pueden haber sido por lavado de nitratos al menos después del riego con temperaturas mayores a 25°C y a C.C. y después de haberse efectuado la nitrificación.
- Otras pérdidas pueden haber sido para el N evaporación del amonio al momento de la desnitrificación, lo que se puede haber dado solo después del riego, por temperaturas altas, así como otra pequeña pérdida por fijación de amonio en la micelas del suelo arcilloso.
- Aquí es importante considerar que los niveles de N aplicados para riego limitado fueron (0, 40, 80, 120), casi la mitad del riego y en una sola aplicación después de la siembra, lo que limita significativamente la disponibilidad en momentos críticos como: desarrollo vegetativo, diferenciación floral y llenado de grano, al menos para el N ya que para el P fueron las mismas cantidades y en una sola aplicación. Esto aunado a menor disponibilidad y por lo tanto reducción de la fuente (agua) que transporta el nutriente, en una proporción de dos quintos.
- Para el P la limitante principal es el hecho de que las raíces solo entran en contacto con el 1 a 3% del área total del suelo, por lo que el no distribuir el P en toda el área arable disminuye significativamente la posibilidad de ser aprovechado, por lo que se recomienda incorporarlo con arado de reja o disco para tener una mayor cobertura en el área total del suelo.
- En general los cultivos solo recuperan del 23 al 30% del fósforo aplicado por fertilización, de residuos orgánicos o de los minerales del suelo, quedando el P residual disponible para los cultivos de los siguiente ciclos.
- Una parte del P aplicado es retrogradado o fijado (forma no aprovechable) particularmente en suelos arcillosos, caso

particular del área experimental.

De todo lo expuesto se observa que existen otros factores que limitan el aprovechamiento adecuado de la fertilización nitrogenada y fosfórica, como es la densidad de población adecuada para el maíz (óptima) puesto que el exceso de población (densidad alta) reduce el beneficio de la fertilización pues el exceso de competencia reduce el tamaño de la mazorca, largo y ancho de la hoja (área folear), menor concentración de CO_2 y competencia por luz, lo que produce una caída en la producción de fotosintetizados y por lo tanto en el rendimiento biológico y económico del cultivo.

Para el experimento particular de riego limitado los valores mínimo, máximo y media de las cuatro covariables consideradas para (cuatro muestreos) presentaron la tendencia a disminuir del primero al cuarto muestreo, de tal forma que durante el primer muestreo el valor mínimo fue de 43.00 pltas/p.u. igual a 17,680.74 pltas/ha, para el máximo se tuvo 184 pltas/p.u. equivalente a 75,657.12 pltas/ha. Para la muestra 2 se presentaron como un valor mínimo 41 pltas/p.u. produciendo 16,858.38 pltas/ha, valor máximo de 162 pltas/p.u. generando 66,611.16 pltas/ha y para la media se tuvo 90.20 pltas/p.u. produciendo 37,088.43 pltas/ha. Durante el tercer muestreo se registró un mínimo de 32 pltas/p.u. dando 13,157.76 pltas/ha y el máximo de 125 pltas/p.u. que repercute con 51,397.5 pltas/ha y para media se tuvo 68.6 pltas/p.u. produciendo 28,206.95 pltas/ha y para el último muestreo (4) el valor mínimo de mazorca fue de 21 mazorca/p.u. generando 8,631 mazorcas/ha, para el valor máximo se presentó 100 mazorcas/p.u. produciendo 41,118.00 mazorcas/ha y de acuerdo a la media se tuvieron 49 mazorcas/p.u. acumulando 20,271.17 pltas/ha. Tomando en consideración que la densidad para este experimento debió haber sido de 45,000 pltas/ha (valor que se obtiene de multiplicar número de surcos de 75 cm = 131.6 por número de plantas por surco = 342 a 29.25 cm ÷ planta), lo que nos muestra que para los valores promedios y para los mínimos resultan muy por debajo de la densidad adecuada sobre todo en los últimos muestreos, solo para el primero y segundo los valores máximos sobrepasa el valor requerido. De esto se puede inferior que el factor más limitativo para la no observancia de respuesta positiva a la fertilización sobre todo para las variables

relacionadas con el rendimiento biológico 3, paja 3 o rendimiento económico (peso de mazorca 4, peso de olote 4 y peso de grano 4), es debido a que el área experimental esta siendo subutilizada mas que en el experimento de riego, ya que las densidades bajas permiten o facilitan pérdidas de humedad del suelo por falta de sombreo del cultivo, así como pérdida por volatilización del amonio a la hidrólisis de la urea o desnitrificación del mismo, así como mayor competencia por aparición de malezas. Además es importante agregar que no existió equidistancia y por lo tanto no hay competencia leal entre la mayoría de las plantas por motivo de siembra manual a tubo. Todo ello con lleva a que existe un desperdicio de superficie del suelo, de humedad y de fertilidad, por lo que es de gran valor regular la dosis óptima del maíz que fluctúa de 45 a 55,000 plantas por ha, dependiendo del arreglo topológico de la variedad, ciclo del cultivo, características del suelo, disponibilidad de agua, condición climática, tecnología del cultivo y propósitos de la producción.

Es de importancia aclarar que con respecto a las características del suelo (Cuadro 36) como color (negro), textura (arcilloso) estructura (granular), pH (ligeramente alcalino 7.4), suelo no calcáreo, ni salino, así como del agua de riego (Cuadro 37) que tuvo salinidad (media) baja en sodio, no fueron limitativos para el aprovechamiento de los nutrientes de N y P incorporados en la fertilización. Sin embargo, las condiciones climáticas (temperatura, humedad relativa y baja precipitación) (Cuadro 38) del aire y el suelo, así como la mayor o menor disponibilidad de agua, que interactúan creando un ambiente adecuado o no para las diferentes pérdidas de N y el aprovechamiento del mismo.

Aunado a lo anterior es de gran importancia señalar la tendencia de los valores estadísticos presentados en las Figuras (39, 40, 41, 42, 43 y 44) para cada una de las variables que presentaron efecto significativo se puede detectar como el factor "N" sigue una tendencia lineal, es decir no hay efecto cuadrático o no se rompe la linealidad la que nos orienta en que el óptimo para este factor esta por encima del nivel más alto de N (120 kg/ha). Sin embargo, para el factor P si se expresa una tendencia cuadrática en estos datos de las Figuras (39, 40, 41, 42, 43 y 44) lo que indica que se rompe la

linealidad en el nivel intermedio bajo y alto a 30 y 60 kg de P_2O_5/ha, igual que en experimento de riego por lo que el óptimo para este factor estaría alrededor de este nivel, todo esto siempre y cuando acompañemos a la tecnología de fertilización con un paquete tecnológico adecuado a la misma y que sea aprovechada plenamente evitando pérdidas de recursos humanos técnicos y económicos y lograr optimizar la producción.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A. CONCLUSIONES PARA RIEGO Y RIEGO LIMITADO

Con respecto a los objetivos planteados para el objetivo 1 (evaluar la respuesta a la fertilización nitrogenada y fosfórica bajo condiciones de riego y riego limitado sobre el cultivo de maíz criollo variedad blanco olote colorado), se determinó que si hubo respuesta a la fertilización nitrogenada y fosfórica sobre el cultivo en riego, ya que se encontró efecto significativo para las siguientes variables: Hojas completas 2, hojas incompletas 2, (apoyada en la covariable 2, número de plantas por parcela útil al segundo muestreo), así como para número de mazorcas 3 (apoyada en la covariable 3 número de plantas por parcela útil al tercer muestreo) y peso de grano 4 con covarianza múltiple (apoyado en la covariable 3; número de plantas por parcela útil tercer muestreo, covariable 4; número de mazorcas por parcela útil cuarto muestreo y covariable 44; número de mazorcas elevada al cuadrado).

Para el caso del experimento en riego limitado también manifestó respuesta a la fertilización nitrogenada y fosfórica al maíz criollo variedad blanco olote colorado, ya que de las 18 variables propuestas, 3 mostraron significancia estadística siendo altura 1 (apoyada en la covariable 1 número de plantas por parcela útil muestreo 1), hojas abajo de la mazorca 3 y área folear 3 (apoyada en la covariable 3 número de plantas por parcela útil tercer muestreo), así como alta significancia para hojas completas 3, hojas secas 3 y número de mazorcas 3 (también apoyadas en la covariable 3 número de plantas por parcela útil tercer muestreo).

De el objetivo 2, determinar las dosis óptima económica bajo condiciones de riego y riego limitado, se encontró que para el experimento de riego después de determinar el modelo de predicción más adecuado para la variable "peso de grano 4" nos indica que para el factor nitrógeno solo expresó efecto lineal es decir no se rompe la linealidad, por lo que el óptimo se encuentra en el nivel más alto 210 kg N/ha. (o en su defecto en niveles mayores pero tendría que

U.A.N.L.

probarse en futuros experimentos) (Figura 19). Para fósforo se observó que presentó efecto lineal y cuadrático, lo que nos indica que se rompe la linealidad o hay cambios en la respuesta en los diferentes niveles o dosis de mismo, denotándose que el óptimo fisiológico se presenta a 60 kg P_2O_5/ha (Figura 20). Asimismo para la interacción nitrógeno-fósforo no se encontró efecto significativo (Cuadros 15 y 16), es decir la respuesta de los niveles de un factor no se ve alterada con las dosis del otro, de tal forma que el mejor tratamiento de los propuestos para esta variable como óptimo económico sería el tratamiento 6 (140 de N - 60 P_2O_5) y óptimo fisiológico el tratamiento 8 (210 de N - 60 P_2O_5).

Referente al experimento en riego limitado no se tuvo efecto para peso en grano sin embargo en las variables significativas y altamente significativas, los resultados estadísticos así como las Figuras de las mismas (39,40,41,42,43,44) reflejan efecto lineal para N y lineal y cuadrático para fósforo, de tal forma que el óptimo para N estaría en 120 kg N/ha o un nivel superior (lo que tendría que probarse en futuros experimentos) y para fósforo el óptimo fisiológico sería 60 kg P_2O_5/HA, así de acuerdo a los resultados para estas variables el mejor tratamiento para óptimo fisiológico y económico varía según la variable entre los tratamientos (7,6,5 y 3) y la diferencia es el 9, sin embargo no influyeron para que se reflejara en cualquiera de las variables de rendimiento biológico 3, paja 3 o rendimiento económico (peso de mazorca 4, peso de olote 4 y peso de grano 4) por lo que no podemos concluir sobre óptimo económico y fisiológico para estas variables.

En cuanto a las hipótesis planteadas, para la No. 1, el nitrógeno y fósforo son macroelementos esenciales que permiten el buen desarrollo vegetativo y reproductivo (rendimiento en grano) de la planta de maíz cuando se encuentran en niveles adecuados y disponibles bajo condiciones de riego y riego limitado, se concluye que ésta es aceptada (para el experimento de riego) ya que los tratamientos que determinan la diferencia estadística para las 4 variables significativas (hojas completas 2, hojas incompletas 2, número de mazorcas 3 y peso de grano 4)., lo determinan aquellas que si tenían los niveles adecuados de nitrógeno y fósforo, marcando la

diferencia contra el tratamiento 9 sin aplicación de nutrientes.

La misma circunstancia se observa en el experimento de riego limitado para las variables con significancia o alta significancia (altura 1, hojas completas 3, hojas secas 3, hojas abajo de la mazorca 3 y número de mazorca 3), donde la diferencia estadística lo marcan los tratamientos con niveles más bajos de N y P_2O_5, y el tratamiento No. 9 sin aplicación de nutirientes, no presentándose la misma conducta para la variable área folear 3, donde los mejores tratamientos son el 3, 7 y el 9, uno con niveles bajos de N y P_2O_5, el segundo con niveles medio y alto y el 9 sin fertilización, lo que parece indicar que para esta variable hay una mayor influencia genética para ajustarse a una área folear que permita llegar a la producción tanto biológica como económica.

Con respecto a la hipótesis 2, que dice niveles adecuados de nitrógeno y fósforo permiten el máximo desarrollo de la planta y las máximas ganancias se acepta para riego ya que con la combinación 210 y 60 kg P_2O_5/ha se obtiene el máximo rendimiento de grano, pero con 210 y 30 kg P_2O_5/ha se da muy buen rendimiento y máximas ganancias. Para riego limitado esta hipótesis se cumple para las variables que tuvieron significancia pero no para rendimiento biológico 3, paja 3, peso de mazorca 4 peso de olote 4 y peso de grano 4.

En general podemos concluir que las posibles limitantes para que se manifestara una mayor diferencia estadística en las variables significativas y las que no tuvieron significancia son: -que no había deficiencia en el suelo ni de nitrógeno ni de fósforo, -la forma de aplicación del N y el P_2O_5 y el número de aplicaciones, -algunas pérdidas de N por volatilización del amonio al momento de amonificación de la urea o por desnitrificación, por lixiviación después de la nitrificación y fijación de amonio en las micelas de arcilla, -algunas pequeñas pérdidas del fósforo pueden ser por lavado y fijación de fosfato en la micela de arcilla, así como la no disponibilidad por su poca movilidad y que las raíces solo entran en contacto del 1 al 3% del área del suelo, ya que los cultivos solo recuperan del 25 al 30% de las diferentes fuentes de fósforo disponible, -pero la limitante fundamental fue densidad tanto para riego como riego limitado, puesto que durante el tercer muestreo y